

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky**

**Návrh a praktická realizace koncepce managementu napájení  
vozidla s elektrickým pohonem Democar**

**Design and Practical Realisation of a Power Management Concept  
for Electric Vehicle Democar**

**2016**

**Bc. Aleš Jarolím**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Jarolím**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T015 Elektronika  
Téma: **Návrh a praktická realizace koncepce managementu napájení vozidla s elektrickým pohonem Democar**  
**Design and Practical Realization of a Power Management Concept for Electric Vehicle Democar**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši prostředků a řešení napájecích bloků pro vozidla s elektrickým pohonem
2. Na základě doporučení vedoucího, dále s uvážením parametrů pro napájení elektronických systémů vozidla Democar a s využitím informací shromážděných díky řešení bodu 1, proved'te návrh koncepce napájecích bloků demonstračního vozidla Democar. Definujte a respektujte možná provozní bezpečnostní rizika
3. Proved'te praktickou realizaci bloků energy managementu vozidla Democar
4. Navržená a realizovaná řešení ověřte praktickým provozním testem

Seznam doporučené odborné literatury:

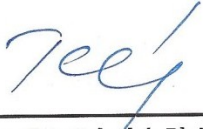
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty



## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 26. dubna 2016

podpis studenta

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'J' followed by a horizontal line.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph. D. za velkou odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

## Anotace

JAROLÍM, A.: *Návrh a praktická realizace koncepce managementu napájení vozidla s elektrickým pohonem Democar*. Ostrava 2016. 47 stran. Diplomová práce. VŠB Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Tato diplomová práce pojednává o návrhu koncepce a realizaci managementu napájení vozidla s elektrickým pohonem „Democar“. V první části práce jsou uvedeny poznatky z rešerše, která proběhla na základě zadání této práce. Tato se týkala především rozboru použitých baterií, principů nabíjení, systémů balancování a příkladů komunikace používané u takových systémů. Za rešeršní částí pak následuje část praktického návrhu a realizace, kde jsou popsány jednotlivé bloky bateriového systému navrhovaného pro vozidlo „Democar“. Tato část se sestává z výčtu provozních rizik vozidla „Democar“, návrhu boxů pro uložení bateriových modulů, návrhu obvodového řešení bateriových modulů, návrhu řídicí jednotky zvané EMCU a vývoje aplikačního software pro jednotku EMCU poskytující informace o stavu jednotlivých bateriových modulů ostatním systémům ve vozidle.

## Annotation

JAROLÍM, A.: *Design and Practical Realisation of a Power Management Concept for Electric Vehicle Democar*. Ostrava 2016. 47 pages. Diploma thesis. VŠB Technical university Ostrava. Thesis head: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

This thesis discusses the design of concept and realization of power supply of electrically powered vehicle "Democar". In the first part of thesis are findings of the research, based on the task of this thesis. This research mainly involved the analysis of batteries being used, charging principles, balancing systems and examples of communication used in such systems. Research part is followed by practical design and implementation part, which describes the individual blocks of the battery system proposed for the vehicle "Democar". This section consists of a list of operational risks of "Democar" vehicle, design of boxes for battery modules, design of circuitry of battery modules, design of the control unit called EMCU and development of application software for this unit which is providing battery status informations to other systems in the vehicle.

## **Klíčová slova**

EMCU, Energy Management, řídicí jednotka, Democar, BMS, SPI, I2C, CAN, UART, bateriový modul, baterie, článěk, akumulátor, bateriové vozidlo, IMD, hlídač izolačního stavu.

## **Key words**

EMCU, Energy Management , Control Unit, Democar, BMS, SPI, I2C, CAN, UART, battery pack, battery, cell, akumulator, battery vehicle, IMD, isolation state monitor.

# Obsah

1	Úvod.....	- 7 -
2	Akumulátory LiFePO <sub>4</sub> .....	- 8 -
3	Baterie .....	- 9 -
3.1	Nabíjení baterie .....	- 9 -
3.2	Řídící jednotka baterie .....	- 11 -
4	Balancování.....	- 14 -
4.1	Pasivní metoda .....	- 14 -
4.2	Aktivní metody .....	- 15 -
4.3	Balancování při vybíjení .....	- 17 -
4.4	Balancování při nabíjení .....	- 17 -
5	BMS systémy a jejich topologie.....	- 19 -
5.1	Distribuované BMS.....	- 19 -
5.2	Modulové BMS.....	- 20 -
5.3	Centralizované BMS .....	- 21 -
6	Komunikace .....	- 22 -
6.1	UART.....	- 22 -
6.2	I <sup>2</sup> C .....	- 22 -
6.3	SPI.....	- 24 -
6.4	CAN .....	- 26 -
7	Návrh a realizace koncepce „energy management“ systému .....	- 30 -
7.1	Provozní rizika .....	- 31 -
7.2	Volba balančního systému .....	- 33 -
7.3	Návrh boxů pro umístění baterií .....	- 34 -
7.4	Návrh řídicí jednotky EMCU.....	- 35 -
7.5	Návrh aplikačního software .....	- 41 -
8	Závěr .....	- 45 -
9	Použitá literatura .....	- 46 -
10	Seznam příloh.....	- 47 -

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>C</b>	F	Kapacita
<b>I</b>	A	Proud
<b>L</b>	H	Indukčnost
<b>R</b>	$\Omega$	Odpor
<b>U</b>	V	Napětí
<b>t</b>	s	Čas



## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>AC</b>	Střídavý proud (angl. Alternating current)
<b>ACD</b>	Bit ukončení potvrzení přijetí zprávy
<b>ACK</b>	Bit potvrzující přijetí zprávy (angl. acknowledgement bit)
<b>Ah</b>	Ampér hodina
<b>BMS</b>	Systém bateriového managementu (angl. battery management system)
<b>C</b>	Kapacitor (angl. capacitor)
<b>CRC</b>	Bity Cyklické redundantní kontroly (angl. cyclic redundant control)
<b>DC</b>	Stejnoseměrný proud (angl. direct current)
<b>EMCU</b>	Řídicí Jednotka energetického managementu (angl. energy management control unit)
<b>ERC</b>	Ukončovací bit redundantní kontroly (angl. end of redundant control)
<b>GND</b>	Uzemnění (angl. ground)
<b>IC</b>	Integrovaný obvod (angl. integrated circuit)
<b>IMD</b>	Hlídač izolačního stavu (angl. isolation monitoring device)
<b>Init</b>	Inicializace (angl. initialization)
<b>IT</b>	Izolovaná síť (lat. isolated terra)
<b>JTAG</b>	Programovací rozhraní (angl. joint test action group)
<b>L</b>	Induktor
<b>LiFePO<sub>4</sub></b>	Lithium-Železo-Fosfát
<b>LSB</b>	Nejméně významný bit (angl. least Significant Bit)
<b>MISO</b>	Vstup dat z podřízeného do nadřazeného zařízení (angl. master in - slave out)
<b>MOSI</b>	Výstup dat z nadřazeného do podřízeného zařízení (angl. master out –

---

	slave in)
<b>OK</b>	Optočlen (angl. optocopuler)
<b>OK<sub>HS</sub></b>	Stavový signál hlídače izolačního stavu, kde vysoký stav = v pořádku (angl. high state = OK)
<b>Q</b>	Tranzistor
<b>R</b>	Rezistor
<b>RTR</b>	Bit určení typu zprávy (angl. remote request)
<b>SCL</b>	Sériová časovací linka (angl. serial clock)
<b>SCLK</b>	Sériová časovací linka (angl. serial clock)
<b>SDA</b>	Sériová datová linka (angl. serial data)
<b>SMPM</b>	Stejnoseměrný motor s permanentními magnety
<b>SOF</b>	Bit oznamující začátek zprávy (angl. start of frame)
<b>SPI</b>	Sériové periferní rozhraní (angl. serial peripheral interface)
<b>SS</b>	Volba podřízeného „slave“ zařízení (angl. slave select)
<b>UART</b>	Univerzální Asynchronní Přijímač Vysílač (angl. universal asynchronous receiver transmitter)
<b>UCC</b>	Napájecí napětí
<b>X</b>	Řídicí jednotka BMS systému
<b>X1</b>	Hlavní konektor

---

## Seznam ilustrací

Číslo obrázku	Název obrázku	Strana
<b>Obr. 3.1</b>	Průběh pulzního nabíjení	10
<b>Obr. 3.2</b>	Průběh „CC-CV“ nabíjení	11
<b>Obr. 4.1</b>	Principiální schéma pasivního balancování	15
<b>Obr. 4.2</b>	Principiální schéma aktivního balancování s kondenzátorem	16
<b>Obr. 4.3</b>	Principiální schéma aktivního balancování s induktorem	16
<b>Obr. 4.4</b>	Principiální schéma aktivního balancování s měničem	17
<b>Obr. 5.1</b>	Topologie distribuovaného BMS	20
<b>Obr. 5.2</b>	Topologie modulového BMS	21
<b>Obr. 6.1</b>	Datový rámec UART	22
<b>Obr. 6.2</b>	Principiální schéma fyzické vrstvy sběrnice I2C	23
<b>Obr. 6.3</b>	Schéma komunikace na I2C sběrnici	24
<b>Obr. 6.4</b>	Linková vrstva I2C sběrnice	24
<b>Obr. 6.5</b>	Princip komunikace po SPI	25
<b>Obr. 6.6</b>	Zapojení SPI „master“ – „slave“	25
<b>Obr. 6.7</b>	Paralelní zapojení „slave“ jednotek v SPI	26
<b>Obr. 6.8</b>	Řetězové zapojení „slave“ jednotek v SPI	26
<b>Obr. 6.9</b>	Schéma přenosového média CAN	27
<b>Obr. 6.10</b>	Stavy na sběrnici CAN	28
<b>Obr. 6.11</b>	Rozložení datového rámce dle specifikace CAN 2.0A	29
<b>Obr. 7.1</b>	Blokové schéma koncepce „energy managementu“	30
<b>Obr. 7.2</b>	Principiální schéma hlídání izolačního stavu ve vozidle „Democar“	32
<b>Obr. 7.3</b>	Fotografie balancérů zapojených na 4 článkové baterii 12V	33

<b>Obr. 7.4</b>	3D model bateriových modulů pohonu a sítě 24V	34
<b>Obr. 7.5</b>	3D model bateriového modulu pro napájení palubní sítě 12V	34
<b>Obr. 7.6</b>	Fotografie umístění bateriových boxů na vozidle „Democar“	35
<b>Obr. 7.7</b>	Blokové schéma jednotky EMCU	36
<b>Obr. 7.8</b>	Schéma zapojení DC/DC měniče	36
<b>Obr. 7.9</b>	Schéma zapojení regulátoru napětí	37
<b>Obr. 7.10</b>	Schéma zapojení optického oddělení	37
<b>Obr. 7.11</b>	Schéma zapojení budičů rozhraní CAN	38
<b>Obr. 7.12</b>	Schéma zapojení budičů výkonových tranzistorů	39
<b>Obr. 7.13</b>	Schéma zapojení programovacího konektoru „JTAG“	39
<b>Obr. 7.14</b>	Konektor výrobce AMPSEAL použitý v EMCU	40
<b>Obr. 7.15</b>	Zapojení hlavního konektoru jednotky EMCU	40
<b>Obr. 7.16</b>	Pohled na hotovou jednotku EMCU z vrchní strany	40
<b>Obr. 7.17</b>	Pohled na hotovou jednotku EMCU ze spodní strany	41
<b>Obr. 7.18</b>	Pohled na vývojový kit TWR PXS 20	41
<b>Obr. 7.19</b>	Vývojový diagram EMCU	42
<b>Obr. 7.20</b>	Pohled na USB to CAN terminál a Code warrior debugger	43
<b>Obr. 7.21</b>	Pohled na stanoviště se zapojenou jednotkou EMCU	44

## Seznam tabulek

<b>Číslo tabulky</b>	<b>Název tabulky</b>	<b>Strana</b>
<b>Tab. 1.1</b>	Základní specifikace LiFePO <sub>4</sub> článku	8
<b>Tab. 7.1</b>	Úryvek z log souboru vygenerovaného převodníkem USB to CAN	43

# 1 Úvod

Elektricky poháněná vozidla bývají často označována za vozidla budoucnosti, protože nabízejí možnost velmi ekologického a nízkonákladového provozu spolu s nízkými požadavky na údržbu. V poslední době dochází k poměrně velkému rozmachu čistě elektrických pohonů v oblasti automobilového průmyslu. Je velmi pravděpodobné, že elektricky poháněná vozidla budou dříve či později dominovat automobilovému průmyslu a jistě nejen jemu. Momentálně je však jedním z největších úskalí možná lobby ropných společností a poměrně velká cena vhodných baterií, která výrobu elektromobilů velmi prodražuje.

Napájení elektrických vozidel je momentálně velmi probírané téma. Zejména pak uchovávání energie pro napájení pohonných jednotek, osvětlení a dalších systémů ve vozidle. Jsou zde zřejmě velké požadavky na energetickou hustotu, to je poměr uchované energie na hmotnost a objem baterie, dále na odolnost vůči poměrně nepříznivým provozním podmínkám jako velké změny teplot, vibrace, velmi kolísavá zátěž, případně nutnost rekuperace energie při brzdění a s tím spojené požadavky na možnost velmi rychlého dobíjení. Dále je nutné, aby byly baterie ve vozidlech bezpečné, aby nehrozilo vznícení, jako je tomu například u Li-ion baterií.

Aktuálním trendem u elektricky poháněných vozidel je použití LiFePO<sub>4</sub> baterií, které mají velmi výhodné vlastnosti, jak z hlediska energetické hustoty, tak i z hlediska bezpečnosti jejich provozu i v případě nehody.

Z výše uvedených důvodů byl tento typ baterií použit i při konstrukci bateriových modulů pro napájení demonstračního vozidla „Democar“.

## 2 Akumulátory LiFePO<sub>4</sub>

Lithium-železo-fosfátový (LiFePO<sub>4</sub>) akumulátor někdy také označovaný jako LFP akumulátor je druh lithium-iontového akumulátoru, který využívá sloučeninu LiFePO<sub>4</sub> jako katodový materiál.

Tento druh akumulátoru byl objeven v roce 1996 na Texaské univerzitě Johnem Goodenoughem. Brzy po objevení vzbudil tento typ akumulátoru velký zájem na trhu, hlavně díky jeho nízké ceně, netoxicitě, výborné teplotní stabilitě, výbornému elektrochemickému výkonu a dobré bezpečnosti. V tabulce níže jsou uvedeny základní specifikace takové baterie.

Tab. 1.1 – základní specifikace LiFePO<sub>4</sub> článku

energie/velikost	220 Wh/L
energie/hmotnost	90-110 Wh/kg
výkon/hmotnost	>3000 W/Kg
životnost v cyklech	>2000 cyklů
časová stálost	>10 roků
nominální napětí článku	3.3 V

Mezi hlavní nevýhody LiFePO<sub>4</sub> baterií patří o něco nižší energetická hustota oproti LiCoO<sub>2</sub> (Li-ion) baterií, avšak tato nevýhoda se časem kompenzuje vlivem rychlejšího stárnutí Li-ion článků, kde již zhruba po roce používání mají oba uvedené druhy článků přibližně stejnou energetickou hustotu. Další výraznou nevýhodou této technologie jsou poměrně malé zásoby lithia v zemské kůře. Tyto jsou v roce 2015 odhadovány na 30000 tun. (1)

Z hlediska bezpečnosti jsou LiFePO<sub>4</sub> články podstatně lepší, než Li-ion články. Může za to silnější vazba Fe-P-O, než je Co-O u Li-ion článků. V případě nesprávného využití (přehřátí, zkrat, přebíjení, apod.) dochází u LiFePO<sub>4</sub> článků k havárii až při teplotách kolem 800 °C a výše. V případě poškození přebíjením zde není riziko požáru jako u Li-ion baterií. LiFePO<sub>4</sub> baterie se pouze nafouknou, případně dojde k úniku plynů přes havarijní ventil a dojde ke zkrácení životnosti takové baterie. Je známo, že napětí na baterii by nemělo přesáhnout maximální mez nabití a zároveň by nemělo klesnout pod minimální mez vybití, kde může dojít k nevratnému poškození takové baterie, které může zapříčinit nemožnost opětovného nabití. Proto se doporučuje baterie uchovávat v nabitěm stavu, protože zde jako u každé baterie dochází k samovybití, které může mít za následek přílišné vybití baterie i při skladování, kdy není baterie používána. (1), (2)

### 3 Baterie

Protože se napětí běžných bateriových článků pohybuje v rozmezí 1,2 – 4 V, je často nutné pro dosažení vyšších napětí respektive proudů tyto zapojovat do baterií (angl., battery packů).

Způsoby zapojování bateriových článků jsou následující:

#### **Sériově**

V případě sériového spojení  $n$  článků, se výsledné napětí celé série násobí celkovým počtem článků v ní zapojených (za předpokladu shodných svorkových napětí jednotlivých článků) respektive se sčítá napětí všech článků v sérii. U sériového spojení však dochází k nerovnoměrnému nabíjení, respektive vybíjení jednotlivých článků. Proto je nutné zajistit rovnoměrné rozložení napětí na člancích při nabíjení, respektive vybíjení, pomocí tzv. balancérů, což jsou zařízení, která zajišťují rovnoměrné nabití, či vybití všech článků baterie.

#### **Paralelně**

Při paralelním spojení článků dochází k navyšování kapacity výsledné baterie součtem dílčích kapacit jednotlivých článků (analogie s napětím u sériového spojení). Zde je však potřeba brát zřetel na napětí jednotlivých článků, která musí být pokud možno stejná, či velice podobná, aby nedocházelo k přelévání energie z článku s vyšším napětím do článku s napětím nižším a tím k přebíjení článků s nižším pracovním napětím.

#### **Sérioparalelně**

Velice často se užívá kombinace výše uvedených zapojení, kde dochází k navyšování jak celkového napětí, tak i kapacity výsledné baterie. Je zde potřeba brát na zřetel kritéria obou výše uvedených způsobů zapojení.

### 3.1 Nabíjení baterie

Tento proces může být proveden více způsoby, avšak všechny nejsou pro nabíjení  $\text{LiFePO}_4$  respektive Li-ion baterií vhodné. Několik možných způsobů nabíjení baterií je uvedeno níže. Vždy je však vhodné nabíjet baterie spíše nižším proudem, což podstatně zvyšuje životnost akumulátorů. (3)

#### **Nabíjení konstantním napětím**

Při nabíjení konstantním napětím se neuvažuje stav nabití baterie a tato se nabíjí téměř konstantním napětím po celou dobu nabíjení. Nabíječky, které nabíjejí konstantním napětím, dodávají z počátku nabíjení velké proudy (vlivem velkých rozdílů potenciálů mezi baterií a nabíječkou), které se omezují dle daného typu baterie na nejvyšší možné hodnoty, tak aby nedošlo k poškození baterie. Tento způsob nabíjení dodá zhruba 70% energie předchozího stavu vybití baterie během asi 30 minut.

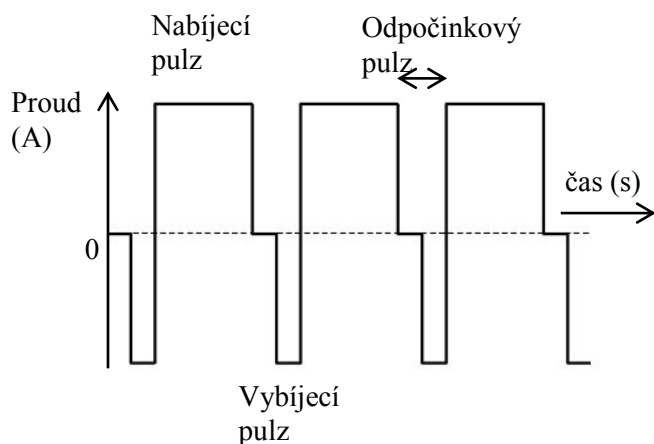
Avšak, čím více se stav nabití baterie zvyšuje, tím více se snižuje nabíjecí proud (vlivem snižování rozdílu potenciálů mezi nabíječkou a baterií) a tím dochází ke zpomalování nabíjení, což má za následek zvýšení nabíjecího času, pro dosažení plného nabití. (3)

### Nabíjení konstantním proudem

Při této metodě mění nabíječka napětí tak, aby bylo dosaženo konstantního nabíjecího proudu. Nabíječka opět nezvažuje stav baterie (nekontroluje se počáteční stav nabití ani teplota). K ukončení nabíjení dochází po dosažení napětí, které odpovídá plně nabitému článku a nebo po dosažení nabíjecího proudu odpovídajícímu  $1/24$  kapacity baterie (záleží na konfiguraci nabíječky). (3)

### Pulzní nabíjení

U pulzního nabíjení teče z nabíječky do baterie proud v krátkých pulzech (většinou kolem 1s), mezi nimiž jsou takzvané „odpočinkové periody“ (ty trvají kolem 20-30 ms), které obsahují vybíjecí pulzy, viz obrázek dole. Tyto „odpočinkové periody“ poskytnou elektrolytu v baterii čas na doběhnutí nezbytných chemických reakcí a tím snižují vliv nechtěných reakcí na elektrodě, kde způsobují korozi, nárůst krystalů a plynování elektrody. Tento „odpočinkový“ pulz lze využít i k měření aktuálního napětí na článku či baterii. (3)

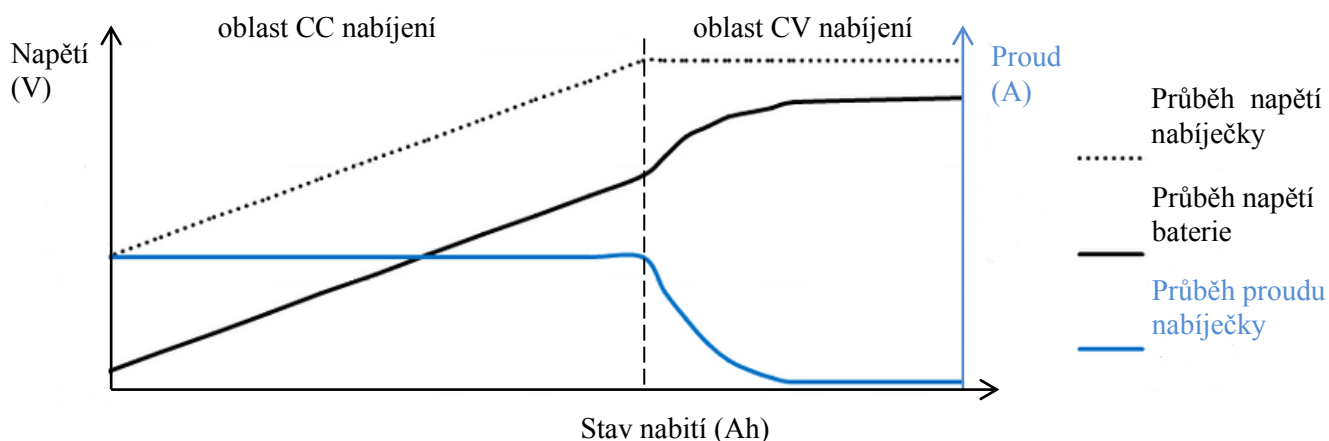


Obr. 3.1 – Průběh pulzního nabíjení

### Kombinované nabíjení

Mnohdy se při nabíjení používá různých kombinací jednotlivých nabíjecích metod. Jako příklad bude uvedeno takzvané „CC-CV“ (angl. Constant Current – Constant Voltage) nabíjení, které je kombinací výše uvedeného nabíjení konstantním proudem a následně nabíjení konstantním napětím. Na obrázku níže je znázorněn průběh takového nabíjení, kdy se baterie nejdříve nabíjí konstantním proudem (oblast CC) téměř do plného nabití a poté je provedeno koncové dobíjení udržováním konstantního napětí na baterii (oblast CV). (3)





Obr. 3.2 – Průběh „CC-CV“ nabíjení

### 3.2 Řídící jednotka baterie

Řídící jednotka baterie (BCU) je v „energy management“ systému druhou nejvyšší vrstvou. Tato má za úkol vyhodnotit veškeré hazardní stavy a řídit provoz baterie. Pro správné vyhodnocení některých stavů a kondice baterie bývá v BCU naprogramován matematický model baterie. Tento pomocí matematických a fyzikálních vztahů reprezentuje reálný systém. Vzhledem k faktu, že baterie je často složená z více sérioparalelně spojených článků bývá stav baterie estimován na základě stavů jednotlivých článků. Pomocí matematického modelu může BCU určit aktuální energii v baterii či odhadovat její potenciální výdrž v závislosti na zatížení. Také je schopna určit stav jednotlivých článků baterie, jako je stav nabití (angl. state of charge), stav hloubka vybití (angl. depth of discharge), zdraví baterie (angl. state of health), apod. (3)

#### Kapacita baterie

Kapacita baterie se běžně uvádí v Ah či mAh, kde kapacita o velikosti 1 Ah reprezentuje schopnost baterie teoreticky dodat zátěži proud 1 A po dobu 1 hodiny při konstantním proudu do zátěže. V praxi však záleží na vybíjecím proudu, kdy větší vybíjecí proud způsobí snížení využitelné kapacity baterie. Hodnoty kapacity uváděné na bateriích odpovídají vybíjení určitým proudem, který bývá násobkem kapacity baterie, tzv. „C-rate“. (3) (4)

#### Násobek kapacity baterie

Násobkem kapacity baterie (angl. capacity rate – C-rate) se rozumí poměr mezi kapacitou baterie a vybíjecím či nabíjecím proudem. Obvykle tato veličina reprezentuje optimální vybíjecí či nabíjecí charakteristiku dané baterie. U všech druhů baterií platí, že čím vyšší nabíjecí či vybíjecí C-rate je použit, tím výrazněji se zkracuje životnost baterie. (3) (4)

### Stav nabití

Tento stav se často označuje jako State of Charge (SOC) a jde o jednu z nejdůležitějších informací o stavu baterie. Pomocí této informace je řídící jednotka schopna stanovit přibližnou dobu do vybití baterie. Existuje více způsobů zjištění stavu nabití baterie, avšak ne všechny jsou použitelné pro všechny druhy baterií. Zde budou uvedeny způsoby výpočtu stavu nabití pro Li-ion či LiFePO<sub>4</sub> baterie. Vztah uvedený níže je zjednodušený vztah pro výpočet náboje, který v baterii zbývá. (3)

$$SOC = 1 - \frac{\int I dt}{C_n} \cdot 100 (\%), \quad (1)$$

kde  $C_n$  reprezentuje maximální kapacitu baterie.

U výpočtu náboje se uvažuje proud za jednotku času, který proudí do baterie, při nabíjení, respektive z baterie při odběru energie. Výše uvedený zjednodušený vztah však nepočítá s určitými vlastnostmi baterie, což způsobuje určitou chybu výpočtu, která může být při běžném provozu až v řádu 10%. V případě požadavku na přesnější výstup a započítání kumulativních chyb vznikajících na baterii vlivem teploty, stárnutí článků apod. je potřeba použít pokročilejší metody výpočtu. (3)

Další metodou jak odhadnout počáteční stav nabití baterie je pomocí tzv. „napětí nezatíženého obvodu“ (angl. open circuit voltage – OCV). Tuto techniku nelze samu o sobě použít pro odhad stavu nabití baterie, avšak při použití rozšířeného Kalmanova filtru a započtení SOC je možno odstranit chybu způsobenou např. nestabilitou odporu, výchozím nabitím, stárnutím, změnami teploty, apod. (3)

### Hloubka vybití

Hloubka vybití (DOD – angl. depth of discharge) je komplementární jednotka k SOC. Je definována jako:

$$DOD = 100 - SOC (\%). \quad (2)$$

Ze vztahu výše plyne, že v případě nárůstu DOD, SOC klesá stejnou rychlostí. DOD tedy reprezentuje kolik energie bylo z baterie odčerpáno. Lithiové baterie není vhodné provozovat na DOD=100% především kvůli výraznému zkrácení životnosti takové baterie. Obecně je doporučováno tyto baterie provozovat na DOD max 80%, tj. využívat pouze 80% jejich energetického potenciálu. (3)

### Zdraví baterie

Zdraví baterie (angl. state of health – SOH) je obvykle určováno jako procentuální poměr mezi použitelnou kapacitou baterie  $C_a$ , která bývá zjištěna po úplném nabití baterie a její výrobní (nominální) kapacitou  $C_n$ . Nejběžnější metoda pro zjištění SOH baterie je pomocí tzv. „kontrolního cyklu“, kdy je baterie za definovaných podmínek nabita a vybita a na základě změřených nabíjecích a vybíjecích napětí a proudů, potažmo teplot se vypočte SOH dané baterie dle:

$$SOH = \frac{C_a}{C_n} \cdot 100 (\%). \quad (3)$$

V případech, kdy je od baterií vyžadován velký výkon, např. u startérů či boosterů, se SOH definuje na základě měření vnitřního odporu baterie. Tato metoda je podstatně jednodušší a rychlejší, než předchozí, avšak poskytuje pouze informaci o SOH vztaženému k výkonu, který baterie může dodat. Vypočte se dle:

$$SOH = \frac{R_{max} - R_a}{R_{max}} \cdot 100 (\%), \quad (4)$$

kde  $R_{max}$  reprezentuje hodnotu maximálního přípustného vnitřního odporu baterie a  $R_a$  pak reprezentuje hodnotu reálného vnitřního odporu, zjištěného měřením, po plném nabití baterie. (3)

### **Vnitřní odpor baterie**

Přesto, že vnitřní odpor bývá udáván v katalogových listech výrobců baterií jako jediná hodnota vztažená k určitým podmínkám, je závislý na mnoha faktorech jako je teplota, C-rate, stav nabití (SOC). Tento odpor se projevuje rozdílem motorického a svorkového napětí článku či baterie při průchodu proudu (nabíjení či vybíjení). Lze jej změřit a vypočíst pomocí ohmova zákona:

$$R_i = \frac{U_e - U}{I} (\Omega), \quad (5)$$

kde  $U_e$  je motorické napětí článku či baterie,  $U$  je svorkové napětí,  $I$  je proud protékající článkem či baterií a  $R_i$  je výsledný vnitřní odpor. (3)

### **Cyklus**

Stará definice cyklu definuje cyklus baterie jako dvojici nabití/vybití, avšak při použití baterie v aplikacích, kde se tato nevybíjí či nenabíjí na plnou hodnotu (DOD=100%, SOC=100%), je potřeba zavést jinou definici cyklu. Např. firma Apple inc. uvádí cyklus jako využití veškeré energie baterie, ale ne nutně plným nabitím a vybitím. To znamená, že např. vybití baterie na 50% DOD, její následné dobíjení na 100% SOC je považováno za polovinu cyklu. (3)

### **Životnost baterie**

Životnost baterie (angl. state of life – SOL) vyjadřuje kondici jednotlivých článků baterie, kdy 100% je stav nového článku a 0% je stav článku, který již svojí kapacitou nedostačuje svému určení a tudíž musí být vyměněn. Z výše uvedeného vyplývá, že SOL bude v budoucnu důležitý ukazatel, při prodeji např. bateriových vozidel, či jiných strojů, kde v případě prodeje použitého stroje bude možno pomocí SOL posoudit stav/cenu baterie vzhledem k její předpokládané životnosti při běžném používání. (3)

## 4 Balancování

Balancování je stav, kdy se mezi jednotlivými články baterie vyrovnává náboj, tímto se vyrovnávají i jejich napětí, díky čemuž dochází ke zvýšení celkové použitelné kapacity baterie, potažmo k ochraně jednotlivých článků před hlubokým vybitím, respektive přebitím při nabíjení.

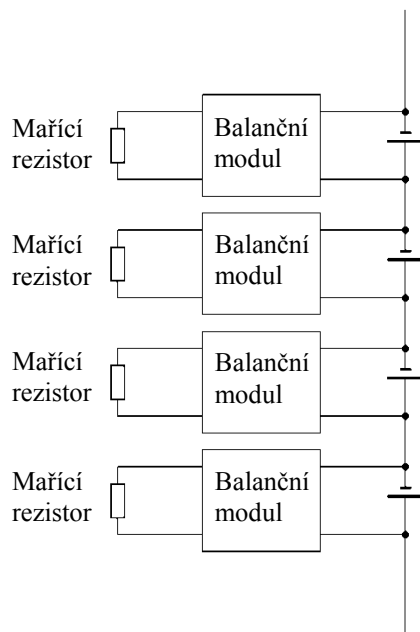
Tento proces je možné rozdělit dvěma způsoby:

- Dle způsobu balancování
  - Pasivní, kde se po připojení odporu maří přebytečná energie článku na teplo.
  - Aktivní, kde se přebytečná energie převádí do článků s nižší úrovní nabití pomocí kondenzátorů, induktorů nebo měničů.
- Dle stavu baterie
  - Při vybíjení, kdy se energie ze článků s vyšším SOC přelévá do článků s nižším SOC, aby nedošlo k hlubokému vybití, potažmo poškození článků s nižším SOC.
  - Při nabíjení, kdy se přebytečná energie z plně nabitých článků přelévá do článků s nižším SOC tak, aby nedošlo k přebití žádného z článků baterie.

### 4.1 Pasivní metoda

Jednou z nejrozšířenějších, nejjednodušších a nejlevnějších metod pasivního balancování, je paralelní připojování rezistorů na balancovaný článek, jehož náboj dosáhl stanovené hranice. Takto se připojují balanční rezistory k jednotlivým článkům až do chvíle, kdy jsou všechny články plně nabity. Následně je nabíjení ukončeno. Uvedený způsob balancování je sice velmi rozšířený, především díky jeho nízké ceně, avšak má zásadní nevýhodu v nevyužití přebytečné energie na jednotlivých člancích, která je mařena v rezistorech přeměnou v teplo, což má navíc za následek vytváření přebytků tepla, které je nutné odvádět z baterie. Na obrázku níže je znázorněno principiální schéma takového systému.

(3)



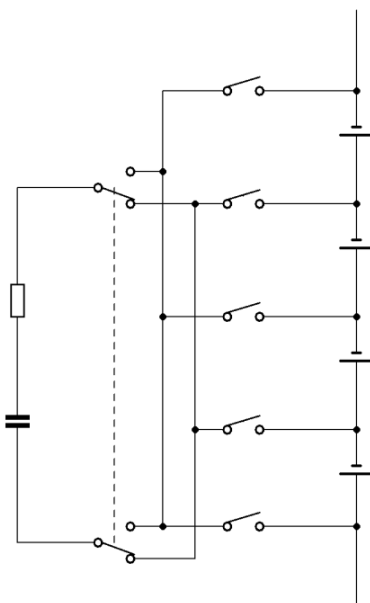
Obr. 4.1 – Principiální schéma pasivního balancování

## 4.2 Aktivní metody

Tyto metody se používají v aplikacích, které kladou velké požadavky na hospodárnost. Je zde tedy snaha alespoň z části využít přebytečnou energii nabitých článků k dobíjení článků s nižším stavem nabití. K tomuto účelu lze využít kondenzátory, induktory či měniče. (3)

### Aktivní balancování za použití kondenzátorů

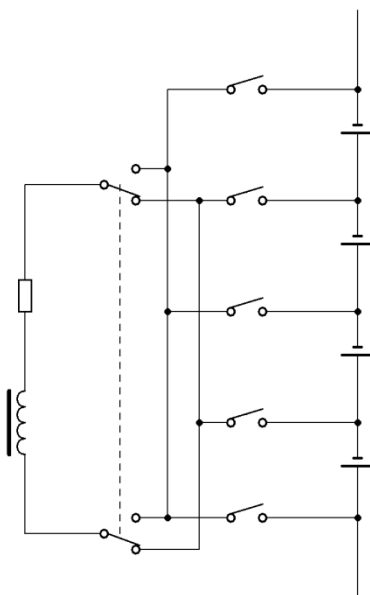
Metody využívající kondenzátorů jakožto nosičů energie jsou jedny z nejefektivnějších. Provádí se zde nabití kondenzátoru z článku přebytečnou energií nabitých článků a jeho následným připojením k článkům s nižším stavem nabití. Obrázek níže znázorňuje princip funkce takového systému. (3)



Obr. 4.2 – Principiální schéma aktivního balancování s kondenzátorem

#### Aktivní balancování za použití induktorů

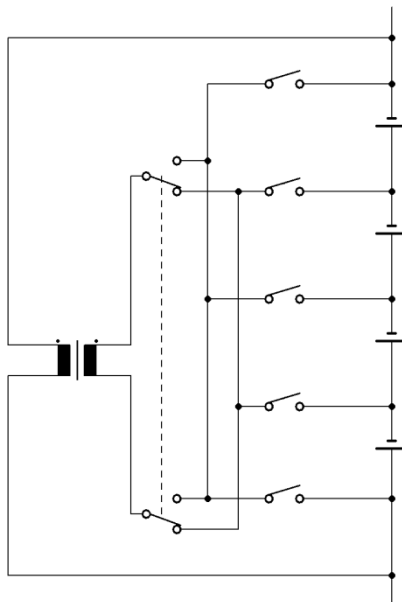
Princip aktivního balancování za použití induktorů je stejný jako při použití kondenzátorů, s tím rozdílem, že nosičem energie je zde cívka. Tato metoda má však nevýhodu v poměrně silném magnetickém poli, které cívka generuje, dalšími problémy jsou rozměry a hmotnost takové cívky. Proto se tato metoda příliš nepoužívá. Principiální schéma je na obrázku níže. (3)



Obr. 4.3 – Principiální schéma aktivního balancování s induktorem

### Aktivní balancování za použití měničů

Tato metoda využívá DC/DC měnič pro převod přebytečné energie z jednotlivých článků článku na celou baterii. Tato metoda je oproti výše uvedeným velice rychlá a efektivní, avšak je podstatně nákladnější. Rychlost převodu přebytečné energie je zde limitována jen proudovým dimenzováním baterie a možnostmi použitého měniče. Princip je naznačen na obrázku níže. (3)



Obr. 4.4 – Principiální schéma aktivního balancování s měničem

### 4.3 Balancování při vybíjení

V případě balancování při vybíjení se jednotlivé články baterie vybíjejí mařícími rezistory tak, aby dosáhly stejné hladiny svorkového napětí, jako nejvíce vybitý článek baterie. Tímto je dosaženo stejnoměrného rozložení napětí na jednotlivých člancích v celé baterii, čímž se dosáhne vypnutí baterie při stejnoměrném vybití všech článků baterie. Tímto se zformátuje celá baterie už při vybíjení a při následném nabíjení pak teoreticky není potřeba žádného BMS systému, protože napětí, potažmo vnitřní odpory jednotlivých článků jsou si natolik podobné, že při plném nabití s určenou rezervou nedojde k přebití žádného z článků baterie. (3)

### 4.4 Balancování při nabíjení

Balancování na konci nabíjení spočívá v maření či redistribuování přebytečné energie plně nabitých článků k článkům s nižším napětím a tím vyrovnávání napětí mezi jednotlivými články baterie. Provádí se to tak, že je baterie nabíjena plným nabíjecím proudem (většinou kolem 0,5 – 2 C) až na hodnotu, kdy je jedna z baterií téměř nabitá. Následně dojde na základě požadavku BMS ke

snížení nabíjecího proudu na proud, který je BMS schopen měřit či redistribuovat a tímto je baterie nabíjena až do plného nabití všech článků. (3)



## 5 BMS systémy a jejich topologie

Běžný battery management system (BMS) je možné rozdělit na dvě základní části. Těmi jsou balanční moduly (na každém článku baterie) a řídicí jednotka.

Aby došlo k omezení rizik při používání baterií, nabíjení a vybíjení, je nezbytné nastavit parametry BMS systému pro danou baterii. Tato je složena z více článků různých parametrů, spojených do série, kde každý z článků v sérii má stejné hraniční hodnoty pro používání. Těmito jsou především horní hranice nabití a dolní hranice vybití. Tyto nesmí být překročeny.

Jednou z možností, jak nabíjet uvedené články je metoda „CC-CV“ (Constant Current – Constant Voltage, tzn. Konstantní proud – Konstantní napětí). U tohoto způsobu nabíjení se standardně nabíjí baterie konstantním proudem až do dosažení téměř plného nabití a poté se udržuje konstantní napětí pro dorovnání potenciálů. U této metody však hrozí snížení životnosti baterií vlivem nerovnoměrného nabití jednotlivých článků. (3)

Při použití LiFePO<sub>4</sub> článků je potřeba zařadit do nabíjecího cyklu stav balancování, který eliminuje možnost přebíjení, či neúplného nabití jednotlivých článků v baterii.

Mezi základní schopnosti moderního BMS tedy patří zejména:

- Kontrola nabíjení a vybíjení
- Kontrola a řízení tepla
- Ochrana článku
- Předpovídání či estimace budoucího stavu článku
- Sběr dat o stavu článku/baterie
- Komunikace s ostatními jednotkami – řídicí jednotkou
- Prodloužení životnosti baterie a jejích článků

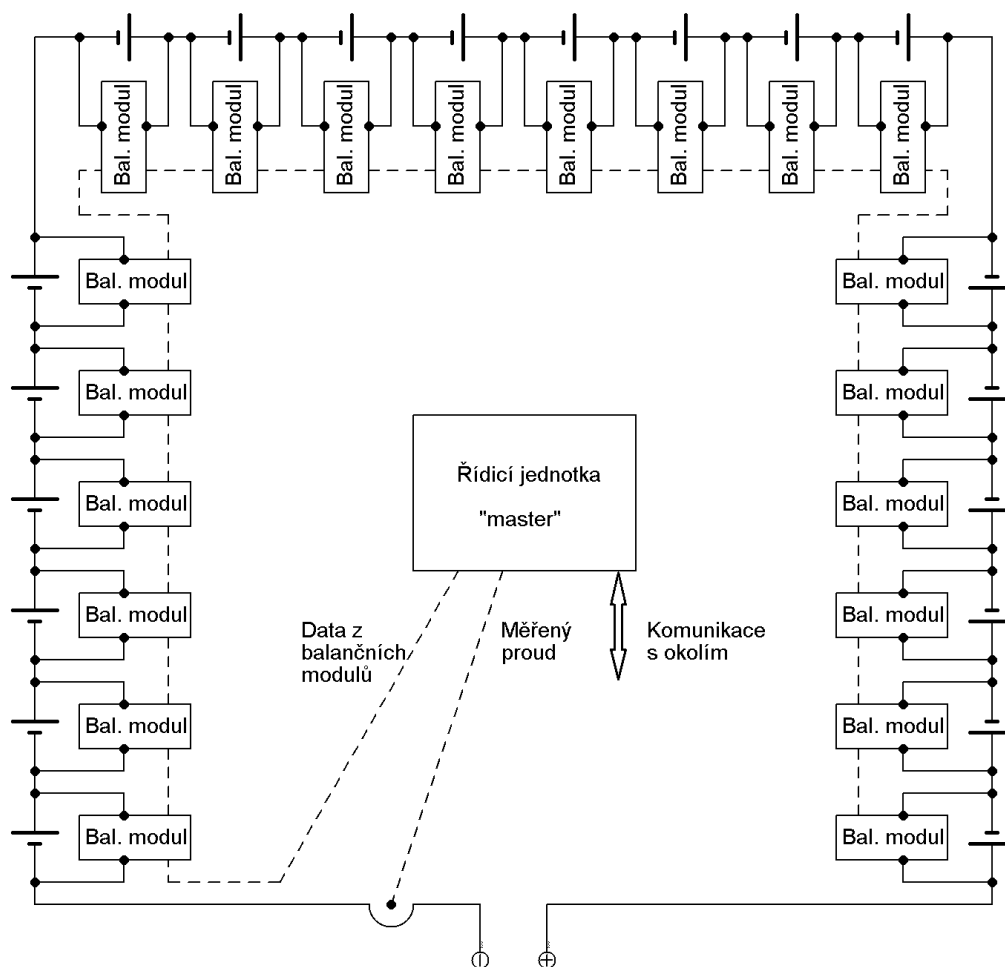
Jednotlivé BMS, které jsou k dispozici na trhu se poměrně výrazně liší, např. v způsobu balancování, naprogramovaném matematickém modelu baterie a nebo topologii, tj. rozdílnému propojení jednotlivých částí. Dle topologie lze BMS rozlišit na:

- Distribuované
- Modulové
- Centralizované

### 5.1 Distribuované BMS

V topologii distribuovaného BMS je na každém článku baterie umístěn balanční „slave“ modul, který monitoruje stav daného článku, na kterém je namontován. Tyto „slave“ moduly bývají

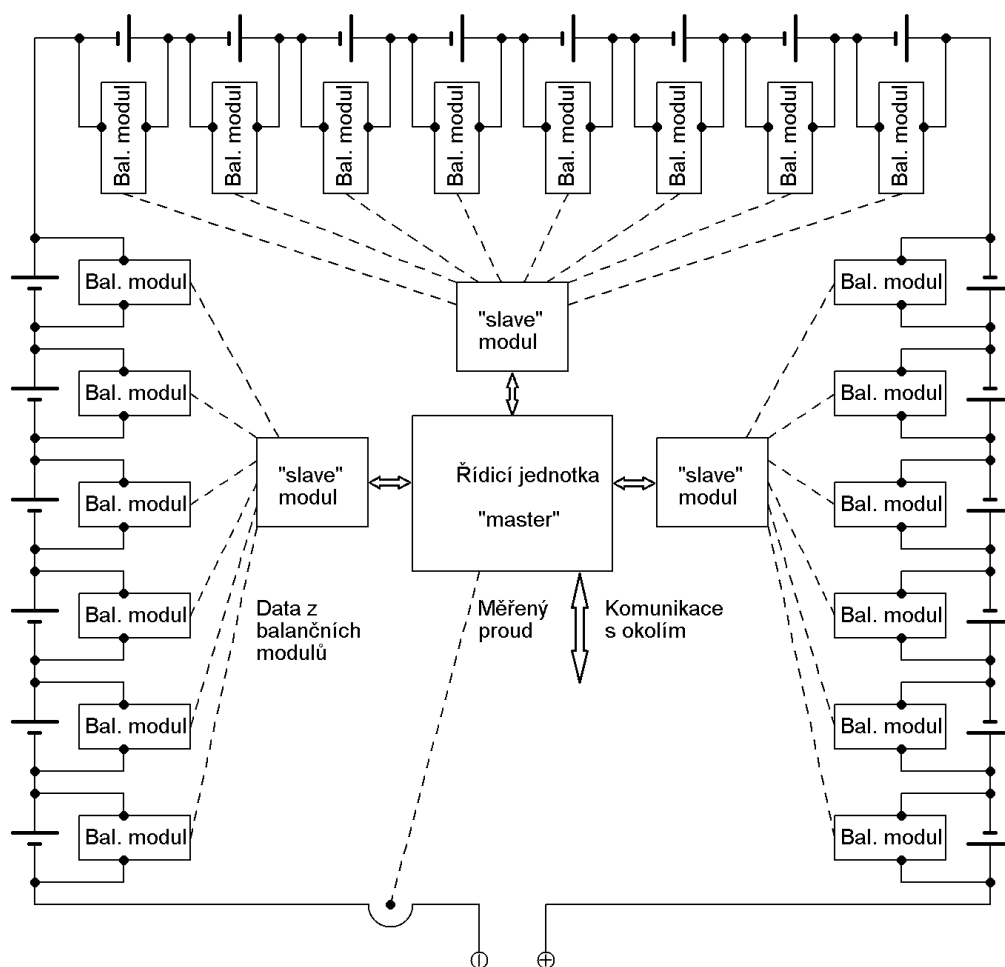
propojeny sériovou linkou s hlavní řídicí „master“ jednotkou, která informace o jednotlivých článcích zpracovává a vyhodnocuje. Na obrázku níže je graficky znázorněn příklad takové topologie. (3)



Obr. 5.1 – Topologie distribuovaného BMS

## 5.2 Modulové BMS

U modulového typu BMS se baterie rozdělí do několika segmentů, většinou po 8 – 12 článkách a každému takovému segmentu se přiřadí jeden „slave“ modul, který sbírá informace o stavu jednotlivých článků a komunikuje s „master“ řídicí jednotkou. Řídicí jednotka následně provádí řízení balancování, zpracovává naměřené hodnoty a komunikuje s nadřazeným systémem. Hlavními výhodami uvedeného systému je jeho snadná rozšiřitelnost pouhým přidáním dalšího „slave“ modulu. Tato topologie se často využívá pro aktivní balancování, tj. přelévání energie mezi články, případně mezi článkem a baterií. Na obrázku níže je znázorněno principiální schéma modulového BMS systému. (3)



Obr. 5.2 – Topologie modulového BMS

### 5.3 Centralizované BMS

Topologie centralizovaného BMS je velmi podobná modulové, avšak s tím rozdílem, že balanční moduly jednotlivých článků jsou propojeny přímo s „master jednotkou“, což značně sťažuje, či úplně znemožňuje navyšování počtu článků v baterii, a proto je tento systém vhodný spíše pro baterie s nižším počtem článků u kterých se nepředpokládá budoucí rozšiřování. (3)

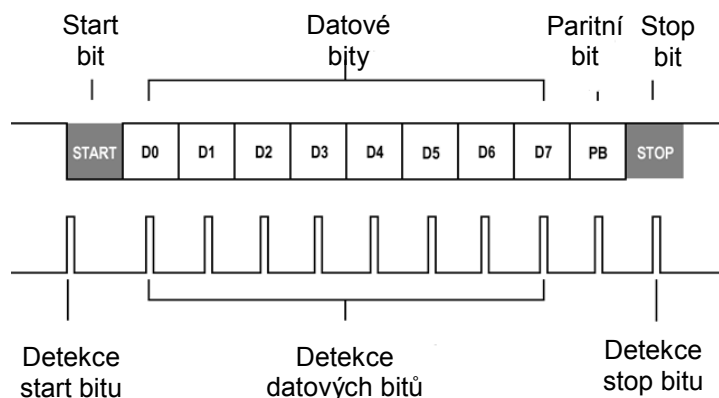
## 6 Komunikace

Existuje mnoho možností, které lze použít pro komunikaci v rámci celkové koncepce energy managementu elektricky poháněných vozidel (od úrovně propojení balančních modulů, přes komunikaci vnitřních bloků řídicí jednotky až po komunikaci celého systému s okolím). Mezi nejčastěji používané patří zejména:

- UART
- I<sup>2</sup>C
- SPI
- CAN

### 6.1 UART

UART (angl. Universal Asynchronous Receiver Transmitter) je zařízení, které převádí data z paralelní formy na sériovou. Každé takové zařízení obsahuje posuvný registr, který každý bajt dat posílá po 1 vodiči sériově, v datových rámcích směrem k přijímači bit po bitu. Přijímač těmito bity postupně naplní svůj posuvný registr a tím zpětně rekonstruuje původní bajt. Každý datový rámec posílaný sériovou linkou obsahuje start bit, 5 až 9 datových bitů a stop bit. Volitelně také může obsahovat paritní bit, který slouží ke kontrole přijatých dat. Na obrázku níže je znázorněn formát takového datového rámce.



Obr. 6.1 – Datový rámec UART

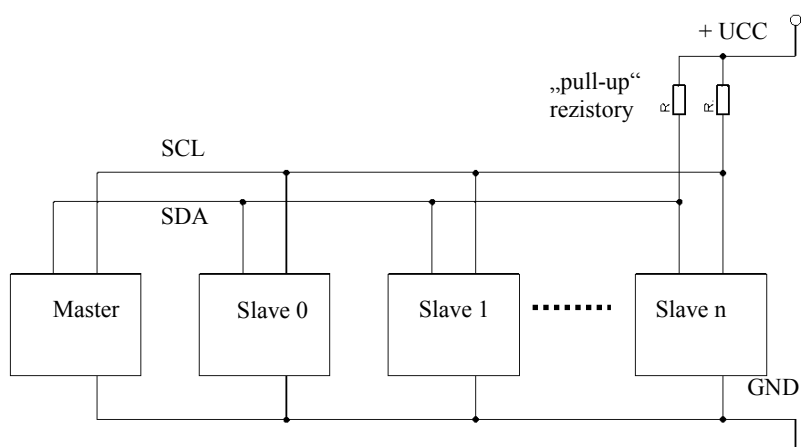
### 6.2 I<sup>2</sup>C

Tento typ sběrnice byl vyvinut roku 1982 ve firmě Philips původně za účelem ovládání budov. Jde o „half-duplex“ interní synchronní datovou sběrnici, která zprostředkovává komunikaci mezi více integrovanými obvody uvnitř většího zařízení. U tohoto typu sběrnice se k označení zařízení jako

„slave“ nepoužívá zvláštní vodič, ale adresace daného zařízení, která je zahrnuta v datovém rámci. Standardně má tato adresa 7 bitů (základní verze protokolu) respektive 10 bitů (rozšířená verze protokolu).

### Fyzická vrstva

Sběrnice I<sup>2</sup>C tvoří dvojice vodičů, SCL (či SCK), který slouží k přenosu hodinového signálu a SDA, který slouží k přenosu dat a zemnicí vodič. Oba uvedené vodiče se pomocí „pull-up“ rezistorů (cca 1,5kΩ) připojují k napájecímu napětí. V době nečinnosti sběrnice se na vodičích SDA i SCL nachází stav log. 1. Toto zajišťují právě zmiňované „pull-up“ rezistory. Na obrázku níže je zobrazeno principiální schéma fyzické vrstvy I<sup>2</sup>C. (5)

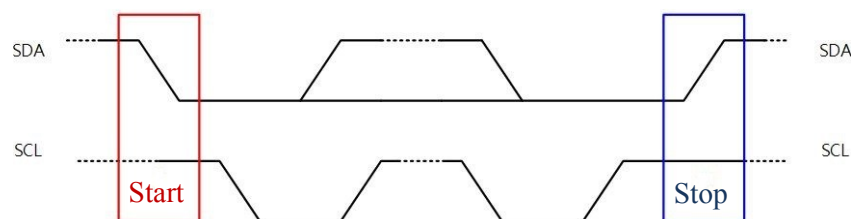


Obr. 6.2 – Principiální schéma fyzické vrstvy sběrnice I<sup>2</sup>C

### Princip funkce

O kompletní řízení na sběrnici se stará jediné zařízení, které je nakonfigurováno jako „master“, přičemž obvody lze zapojit i jako tzv. „multi-master“, kde může být několik zařízení nakonfigurovaných jako „master“. Zde si popíšeme konfiguraci s jedním zařízením nakonfigurovaným jako „master“. Při přenosu začne generovat zařízení „master“ hodinový signál. V případě, že začne jedno ze zařízení vysílat, všechna ostatní zařízení připojená na sběrnici přijímají tuto zprávu a na základě shody či neshody v adresovém rámci určí, zda je zpráva určena právě jim. Zařízení, jenž vyžaduje odeslání či přijetí dat, vždy musí specifikovat se kterým ze zařízení chce komunikaci provádět a dále musí uvést, zda jde o příjem či vysílání dat. (5)

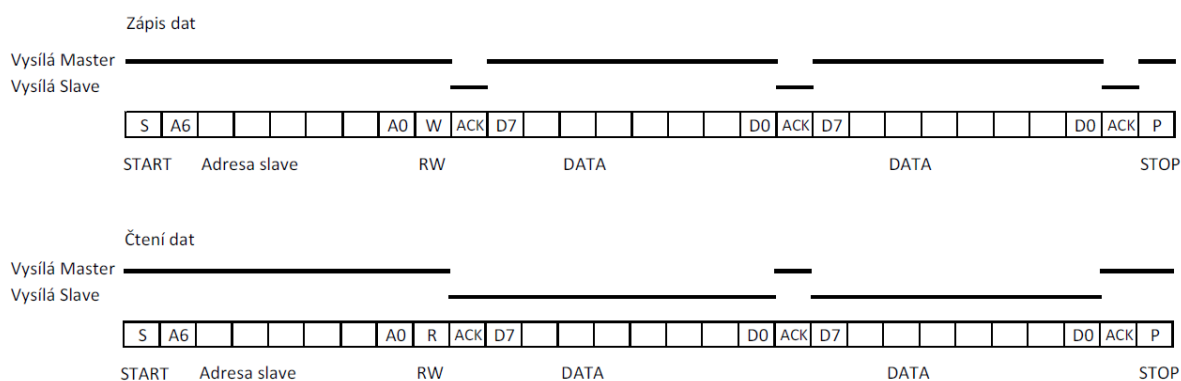
V případě klidového stavu, kdy na sběrnici neprobíhá vysílání ani příjem jsou vodiče SDA i SCL ve stavu log. 1. V případě probíhající komunikace platí takové pravidlo, že na vodiči SDA se smí měnit log. úroveň pouze když je SCL ve stavu log. 0. Po splnění této podmínky je možno na SDA vodič vysílat jednotlivé bity zprávy. Jsou zde dvě výjimky a to pro zahájení a nebo ukončení komunikace (START bit a STOP bit), tyto jsou znázorněny na obrázku níže. (5)



Obr 6.3 – Schéma komunikace na I<sup>2</sup>C sběrnici (6)

### Linková vrstva

Na obrázku níže je znázorněna linková vrstva I<sup>2</sup>C sběrnice pro případ čtení a zápisu dat.



Obr. 6.4 – Linková vrstva I<sup>2</sup>C sběrnice (5)

## 6.3 SPI

SPI, neboli anglicky „Serial Peripheral Interface“ je plně duplexní, synchronní datové spojení po třech vodičích, které se využívá především pro přímé propojení mikroprocesorů. Přesto že byla původně navržena k přímé komunikaci mezi jediným „master“ a jediným „slave“, je schopna zajistit i komunikaci mezi jedním „master“ a více „slave“ zařízeními. Tyto obvykle fungují na principu posuvných registrů, kde je potřeba pro zahájení komunikace nastavit časování (provádí „master“ jednotka) a v případě více „slave“ jednotek nastaví „master“ jednotka log. 0 na příslušný SS pin pro vybrané „slave“ zařízení. Následně probíhá během každého hodinového cyklu plně duplexní komunikace, kde „master“ odesílá bit po vodiči MOSI, tento je přečten „slave“ jednotkou, která po naplnění interního registru odesílá přijaté bity zpět do „master“ jednotky po vodiči MISO. Jednotka „master“ vždy komunikuje pouze s jednou „slave“ jednotkou. V případě více „slave“ jednotek je možné tyto zapojit buď paralelně, nebo řetězově (angl. „Daisy chain“). (6)

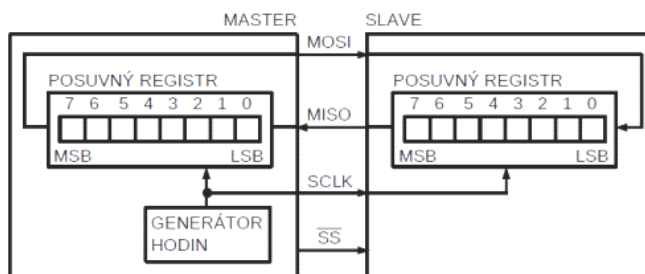
Význam zkratk jednotlivých vodičů a pinů je dle standardu SPI následující:

SCLK – (Serial Clock) – hodinový signál

MOSI – (Master Out Slave In) – označuje komunikaci směrem z „master“ do „slave“ jednotky

MISO – (Master In Slave Out) – označuje komunikaci směrem z „slave“ do „master“ jednotky

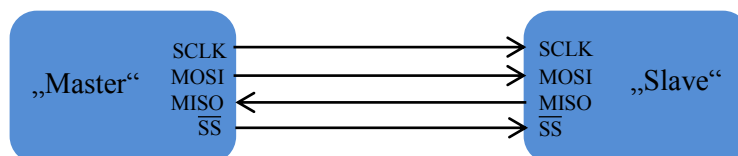
SS nebo CS – (Slave Select nebo Chip Select) – označuje výběr či aktivaci „slave“ jednotky



Obr. 6.5 – Princip komunikace po SPI (5)

### Fyzická vrstva

V případě komunikace s jednou „slave jednotkou“ je tato připojena většinou 4 vodičově (lze i pomocí 3, ale 4 vodičové připojení je nejužívanější). Na obrázku níže je znázorněno schéma takového propojení.

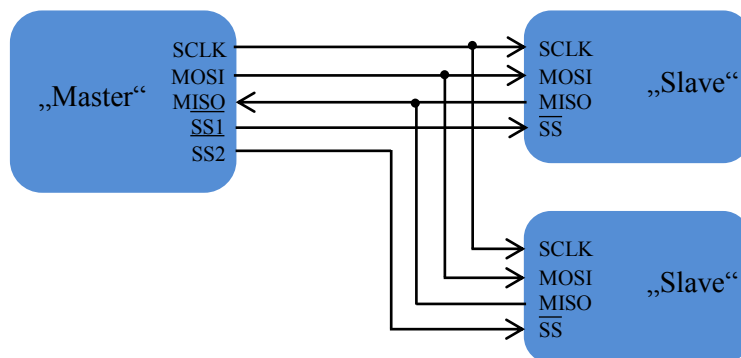


Obr. 6.6 – Zapojení SPI „master“ – „slave“

V případě zapojení více „slave“ jednotek je možno použít v zásadě dva druhy propojení:

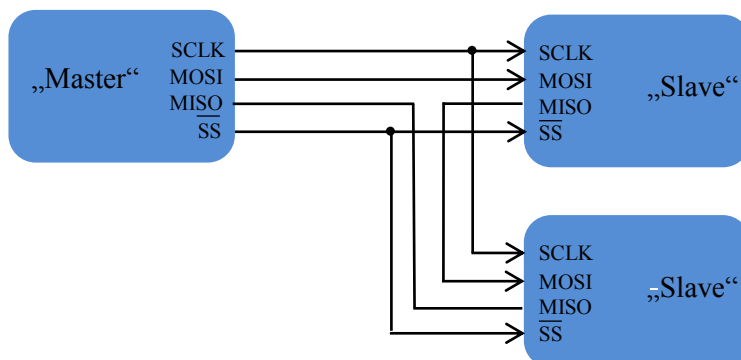
- Paralelně
- Řetězově (angl. „Daisy chain“)

Na obrázku níže je znázorněno paralelní zapojení, kde jsou jednotlivé „slave“ jednotky propojeny paralelně a aktivovány pomocí SS pinů („Slave Select“). Tímto se určí, která jednotka bude komunikovat, ostatní přitom zůstanou neaktivní a zprávu ignorují. (5)



Obr. 6.7 – Paralelní zapojení „slave“ jednotek v SPI

Na následujícím obrázku je znázorněno tzv. Řetězové zapojení, někdy také označované „do kruhu“. Zde jsou datové piny „slave“ jednotek propojeny sériově, avšak SS piny jsou zapojeny paralelně. Tímto je zajištěno, že budou všechny jednotky v řetězci aktivní. Celé zapojení funguje v podstatě jako velký posuvný registr, kde „slave“ jednotky jsou většinou nakonfigurovány tak, aby v každém druhém cyklu odeslaly data, která získala v prvním cyklu. Toto však vyžaduje správné načasování a tím získávání správných bitů, a proto je potřeba pro obsluhu složitějšího softwarového řešení. (5)



Obr. 6.8 – Řetězové zapojení „slave“ jednotek v SPI

## 6.4 CAN

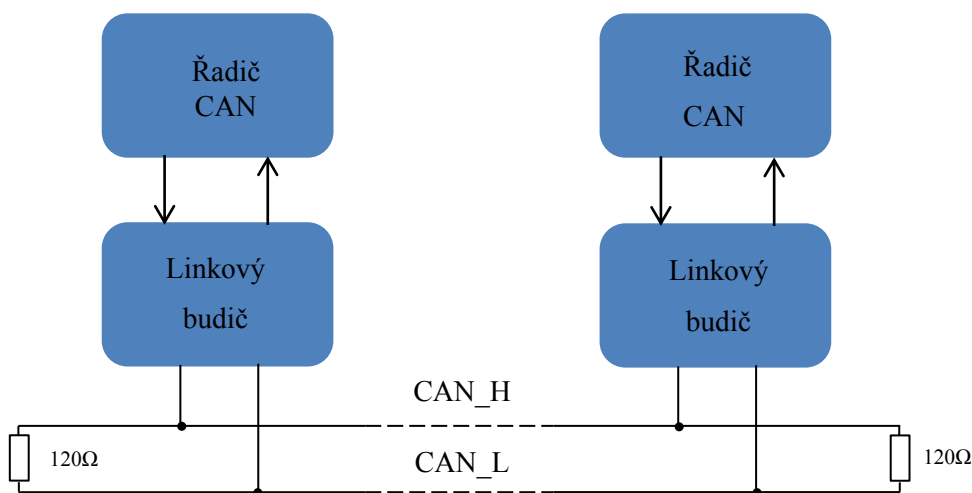
CAN je sériový protokol, který byl původně navržen firmou Bosh pro automobilové aplikace. V počátcích používaly sběrnice CAN upravené rozhraní RS485, toto bylo později upraveno a definováno vlastní normou ISO 11898, která specifikuje fyzickou a linkovou vrstvu CAN protokolu.



Sběrnice CAN je tzv. multi-master sběrnice, kde jednotky můžou vysílat data bez ohledu na to, zda budou jinou jednotkou přijata. Datové rámce tedy neobsahují žádnou adresu, ale identifikátor, který reprezentuje data obsažena v datovém rámci. Tento je přijat všemi jednotkami, které jsou na sběrnici připojeny a tyto si samy vyhodnocují na základě identifikační zprávy, zda jsou jim data užitečná či nikoli. Pokud ne, jsou smazána. Každá připojená jednotka tedy přijímá veškerá data na sběrnici, ale zpracovává jen ty, které potřebuje. Identifikátor může mít délku 11bitů (pro CAN 2.0A i CAN 2.0B), nebo rozšířený 29bitů (pro CAN 2.0B). (7)

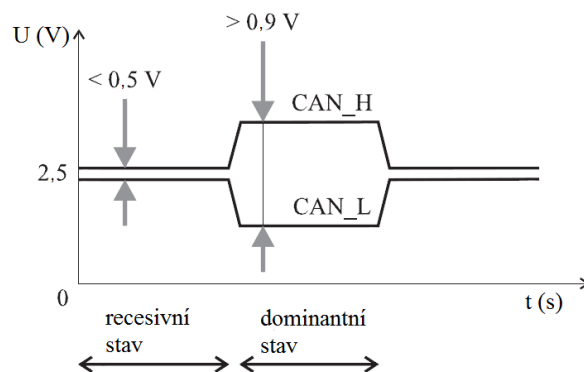
### Fyzická vrstva

Jedním ze základních požadavků na přenosové médium je dle CAN protokolu realizace logického součinu. Je důležité, aby byl spoj pro přenos dat co nejsymetričtější, především kvůli odolnosti a zvýšení rychlosti přenosu. Tato může být na malé vzdálenosti (přibližně do 40 m) až 1 Mbd. S rostoucí délkou vedení však velmi rychle klesá. Např. při délce vedení 1km se přenosová rychlost sníží až na cca 50 kbd. Podobně jako u RS485 se i zde pro zamezení odrazů a přeslechů na dlouhém vedení používají tzv. ukončovací rezistory (terminátory), které mívají hodnotu  $120\ \Omega$  a jsou zapojeny mezi dvěma vodiči, které jsou označovány CAN\_H a CAN\_L a vedou inverzní signál, viz obrázek níže. (7)



Obr. 6.9 – Schéma přenosového média CAN

Tento signál může nabývat dvou stavů, tzv. dominantní (angl. dominant) a recesivní (angl. recessive). Dominantní stav reprezentuje log. 1 a recesivní pak log. 0. Díky těmto vlastnostem je schopna sběrnice CAN fungovat i s jedním vodičem (např. pokud dojde k přerušení jednoho z vodičů), protože na základě logického součinu, lze říci, že sběrnice se nachází v dominantním stavu, jestliže je v tomto stavu alespoň jeden její uzel. Obrázek níže ilustruje napěťové úrovně na sběrnici CAN.



Obr. 6.10 – Stavy na sběrnici CAN (7)

### Linková vrstva

U protokolu CAN se linková vrstva dělí na podvrstvy:

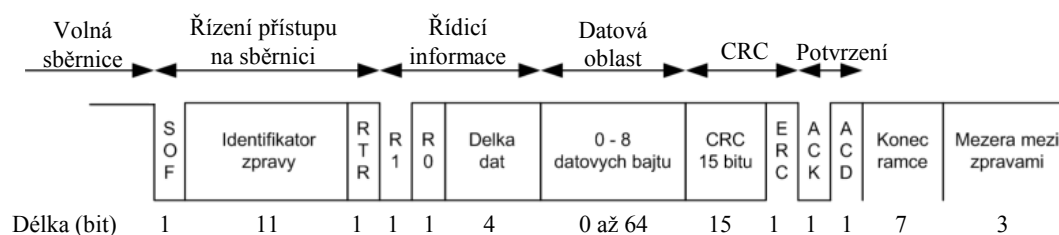
- MAC (angl. „Medium Access Control“) což je jádro protokolu CAN, jenž má za úkol kódování dat, vkládání doplňkových bitů do komunikace, řízení přístupu uzlů k médiu, rozlišování priorit zpráv, detekci chyb a jejich následné hlášení a v neposlední řadě také potvrzování korektně přijatých zpráv.
- LLC (angl. „Logical Link Control“) což je podvrstva, která řídí datový spoj, to znamená, že filtruje přijaté zprávy a hlásí přetížení. (7)

### Formát datového rámce

V protokolu CAN jsou zprávy předávány v tzv. rámcích (angl. „frames“), kdy se tyto dělí na 4 základní druhy:

- Datový rámec (angl. „Data frame“)
- Rámec s požadavkem na vysílání dat (angl. „Remote frame“)
- Chybový rámec (angl. „Error frame“)
- Rámec přetížení (angl. „Overload frame“)

Datový rámec může být v závislosti na použitém CAN standardu (CAN 2.0A či CAN 2.0B) buď se standardním 11 bit. identifikátorem, či s rozšířeným 29 bit. identifikátorem. Na obrázku níže je pro vysvětlení uveden datový rámec protokolu CAN 2.0A. (7)



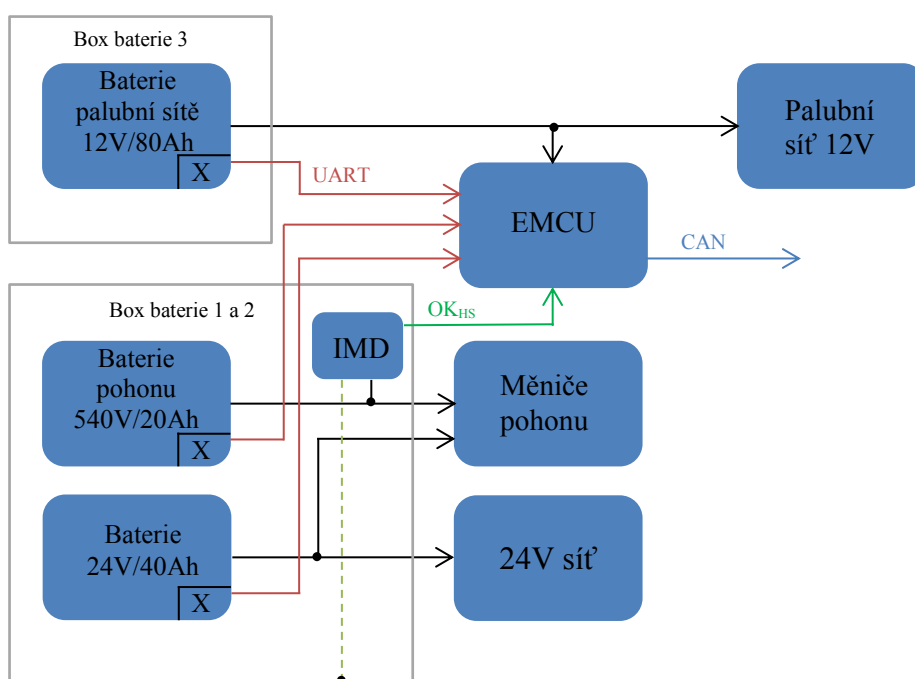
Obr. 6.11 – Rozložení datového rámce dle specifikace CAN 2.0A (7)

Význam dílčích částí datové zprávy dle specifikace CAN 2.0A je:

- SOF (angl. „Start Of Frame“) – začátek zprávy (1bit).
- Identifikátor zprávy a řízení přístupu ke sběrnici, které určují prioritu a význam zprávy (11bitů).
- RTR (angl. „Remote Request“) – slouží k určení typu zprávy, pokud jde o datovou je v dominantním stavu, pokud jde o žádost o přístup na sběrnici je v recesivním stavu.
- Řídicí pole – obsahuje dva vyhrazené bity (R1, R0) a 4 bity s informací o délce datového pole.
- Datová oblast – může mít délku 0 až 8 bajtů.
- CRC – je pole zabezpečovací pole tvořené 15 bity a jedním ukončovacím bitem ERC.
- Potvrzení – jde o pole tvořené bitem ACK (angl. „Acknowledgment“) a jedním zakončovacím bitem ACD.
- Konec rámce – je ukončovací řada 7 bitů v recesivním stavu.
- Mezera mezi zprávami – je tvořena nejméně 3 bity v recesivním stavu. (7)

## 7 Návrh a realizace koncepce „energy management“ systému

Celková koncepce „energy management“ systému vozidla Democar se skládá ze tří samostatných bateriových modulů, které jsou umístěny ve třech boxech z hliníkového plechu. Každý modul má svojí vlastní řídicí jednotku X, která monitoruje jeho stav a řídí periferie regulující nabíjení, popř. může odpojit modul od spotřebiče. Tyto jednotky jsou napojeny na centrální řídicí jednotku EMCU (angl. Energy Management Control Unit), která je s dílčími jednotkami X propojena přes rozhraní UART a přebírá od nich důležité informace o stavech jednotlivých bateriových modulů, zpracovává je a dále odesílá na CAN sběrnici vozidla, odkud si je mohou převzít další řídicí jednotky vozidla. Na obrázku níže je znázorněno blokové schéma této koncepce.



Obr. 7.1 – Blokové schéma koncepce „energy managementu“

Schéma zapojení silových a ovládacích obvodů bateriových modulů je uvedeno v příloze I. Zde je možné si povšimnout reléové logiky, která zajišťuje nabití meziobvodu měničů přes rezistor zapojený paralelně k jednomu z pólů hlavního stykače. Prodlevu pro zajištění pozvolného nabití zajišťuje časové relé, které sepne druhý pól stykače a tím přemostí omezovací rezistor až po uplynutí několiknásobku časové konstanty nabíjení kondenzátorových baterií v měničích. Započítí odpočtu do sepnutí hlavního stykače a přemostění nabíjecího rezistoru je vyřešeno pomocí propojky v přívodní vidlici. Tato je navržena zvlášť pro měniče a zvlášť pro nabíječku (okamžité přemostění nabíjecího rezistoru u nabíječky).

Baterie pohonu o 162 člancích a nominálním napětí cca 540 V/20 Ah a baterie pro napájení řídicích obvodů měničů a servořízení o 16 člancích a nominálním napětí 24 V/40 Ah jsou umístěny v bednách 1 a 2 na šasi vozidla pod sedací částí. Baterie palubní sítě o 16 člancích a nominálním napětí 12 V/80 Ah bude umístěna na šasi vozidla za předním nárazníkem. Palubní síť bude od sítě pohonu a napájení řídicích obvodů měničů a servořízení galvanicky oddělena. Všechny sítě ve vozidle jsou izolované sítě (IT) a proto při běžném provozu i při nehodě hrozí jen velmi malé riziko úrazu elektrickým proudem. Přesto je však vhodné zapojit do sítě hlídač izolačního stavu, který poskytne informaci o poklesu izolačního odporu pod zvolenou hodnotu jednotce EMCU, tato ji předá na sběrnici CAN a následně může dojít k odpojení hlavní baterie 540V.

## 7.1 Provozní rizika

Při provozu elektrovozidla napájeného 540 V baterií existuje riziko úrazu elektrickým proudem a proto je potřeba zvážit veškeré možné příčiny takového úrazu při běžném provozu i při případné nehodě. Rizika je možné rozdělit podle jejich původu do čtyř základních skupin:

### 1. Rizika při běžném provozu

- selhání měniče (neohrozí osádku ani okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- selhání bateriového modulu 540 V (neohrozí osádku ani okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- selhání bateriového modulu 24 V (může ohrozit osádku a okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- selhání bateriového modulu 12 V (může ohrozit osádku a okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- požár vedení/měniče/bateriového modulu (může ohrozit osádku i okolí, může zamezit dalšímu provozu)

### 2. Rizika při nehodě

- požár vedení/měniče/bateriového modulu (může ohrozit osádku i okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- Poškození izolace a probití 1 pólu nebezpečného napětí na kostru vozidla (nemůže ohrozit osádku ani okolí (IT síť), může zamezit dalšímu provozu (odpojení hlavního bateriového modulu)

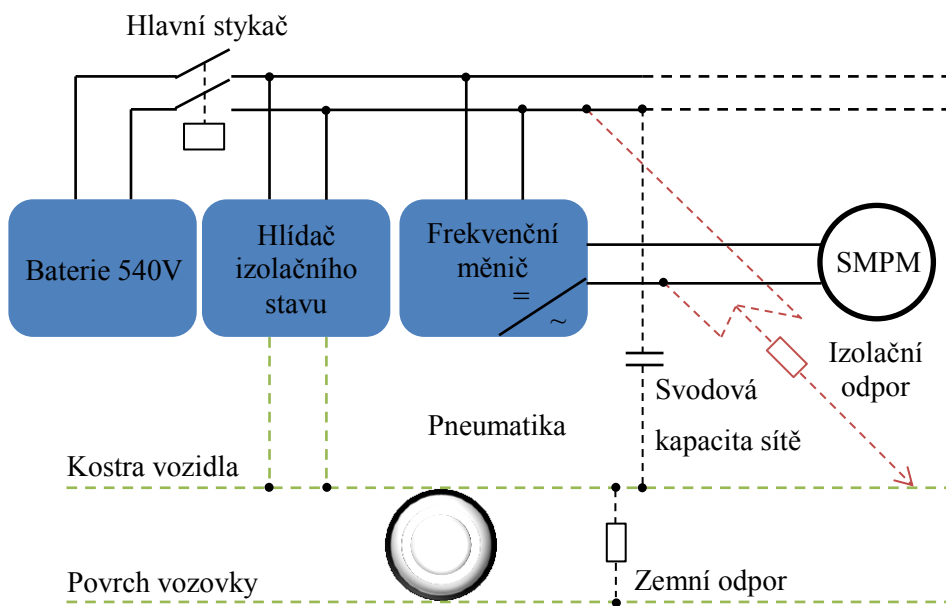
### 3. Rizika při selhání elektronických systémů

- rizika viz výše při poškození jisticích/odpínacích systémů, osvětlení, apod. (může ohrozit osádku i okolí, může zamezit dalšímu provozu)
- rizika neřízené akcelerace či decelerace, nechtěné zatočení servořízení apod. (může ohrozit osádku i okolí, může zamezit dalšímu provozu)

#### 4. Ostatní rizika

- riziko probití 1 pólu, snížení izolačního odporu, či poškození bateriového modulu vlivem nadměrné vlhkosti, či přítomnosti vody (nemůže ohrozit osádku i okolí, může zamezit dalšímu provozu)

Jelikož jsou sítě ve vozidle „Democar“ izolované, je potřeba u 540V sítě pro napájení pohonů hlídat izolační stav. V případě zhoršení izolačního stavu pod kritickou úroveň je potřeba zajistit okamžité odpojení zdroje hlavním stykačem. Koncepce takové ochrany je znázorněna na obrázku níže.



Obr. 7.2 – Principiální schéma hlídání izolačního stavu ve vozidle „Democar“

Vysokonapěťový systém ve vozidle by měl být po celou dobu jeho provozu včetně fáze nabíjení monitorován pomocí hlídače izolačního stavu. Tento zajistí, že v případě poklesu izolačního odporu dojde k hlášení o snížené hodnotě izolačního odporu. Tento stav sám o sobě neznamená pro obsluhu žádné riziko úrazu elektrickým proudem, protože uvedená síť má proti zemi neutrální potenciál, avšak přesto se musí závada v co nejkratším čase lokalizovat a odstranit. Tímto se zabrání eventuálnímu negativnímu ovlivnění provozu vozidla, ke kterému by mohlo dojít např. další závadou v jiném místě vedení, či na jiném kabelu s opačnou polaritou. Limitní hodnoty izolačního odporu jsou dle norem 100  $\Omega/V$  pro DC síť a 500  $\Omega/V$  pro AC síť. Protože u řešeného vozidla jde o kombinovanou síť, je nutné vycházet z hodnoty pro AC síť, a proto by měla být kritická hodnota izolačního odporu stanovena na hodnotu cca 300 k $\Omega$ .

## 7.2 Volba balančního systému

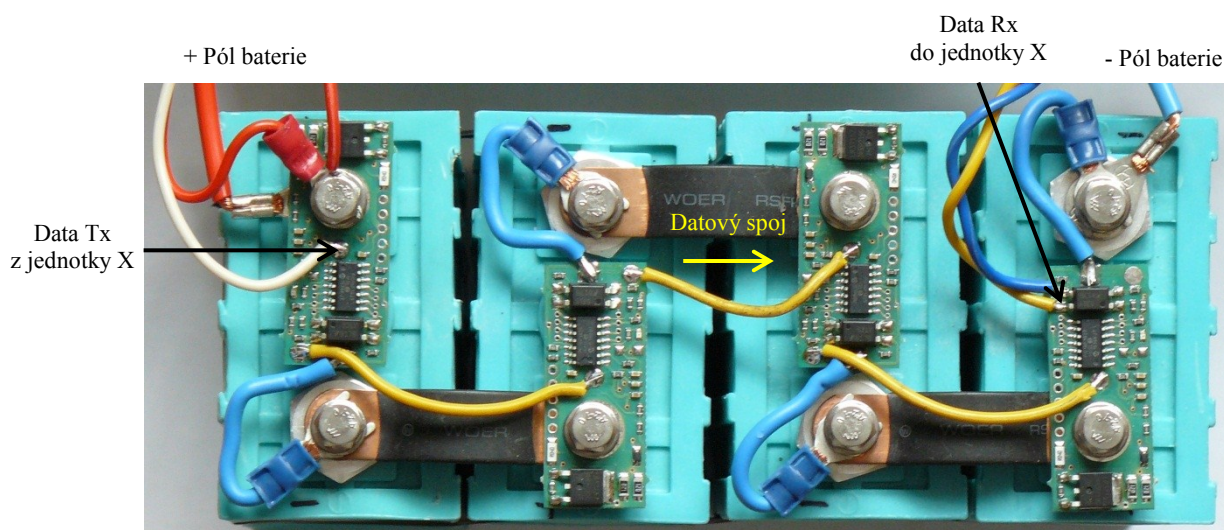
Balanční systém byl zvolen s ohledem na technické požadavky systému. Byly vybrány balancéry BS2V4 micro od firmy EV-Auto. K nim je dále dodávána řídicí jednotka zvaná „jednotka X“, která zpracovává data z balancérů, zobrazuje je na displeji a odesílá dále prostřednictvím UART. Firma dále dodává FET modul, který reguluje proud tekoucí do baterie na konci nabíjení v době balancování a bistabilní relé, která slouží k připojení či odpojení baterie a přemost'ování FET modulu.

Balancéry BS2V4 micro poskytují základní informace o jednotlivých člancích a zároveň je chrání před přehříváním. Maximální balanční proud u tohoto typu balancérů je nastaven na 350mA, což je u baterií s kapacitou do cca 40 – 80Ah vzhledem k požadované rychlosti nabíjení dostačující. Mezi balancéry a řídicí jednotkou X probíhá sériová komunikace, která zajišťuje dopravu informací o jednotlivých člancích baterie do jednotky X. Tato následně tyto informace zpracovává, zobrazuje na displeji a odesílá po UART do řídicí jednotky energy managementu EMCU.

Každý balancér poskytuje o článku na kterém je připojen následující informace v 5 bajtech:

- Identifikátor (1. bajt – hodnota 170)
- Napětí na článku v mV (2. a 3. bajt)
- Balanční proud tekoucí balančním modulem (4. bajt – proud v desítkách mA)
- Teplota článku (5. bajt – teplota ve stupních C)

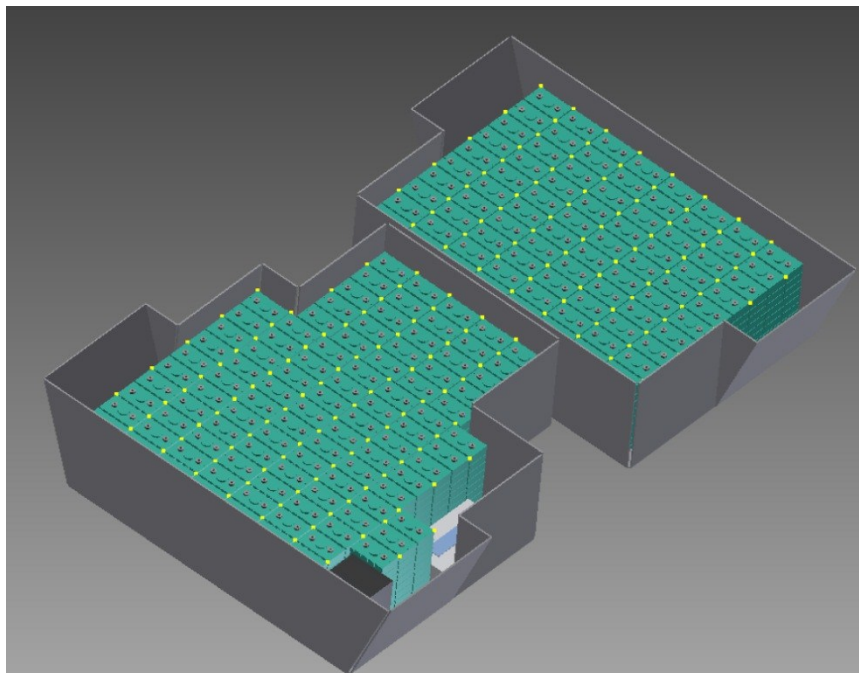
Na obrázku níže je fotografie uvedeného balančního modulu namontovaného na baterii. Tento je svými rozměry vyhovující i k montáži na malé baterie o kapacitě 20Ah, které jsou použity v bateriových modulech vozidla „Democar“.



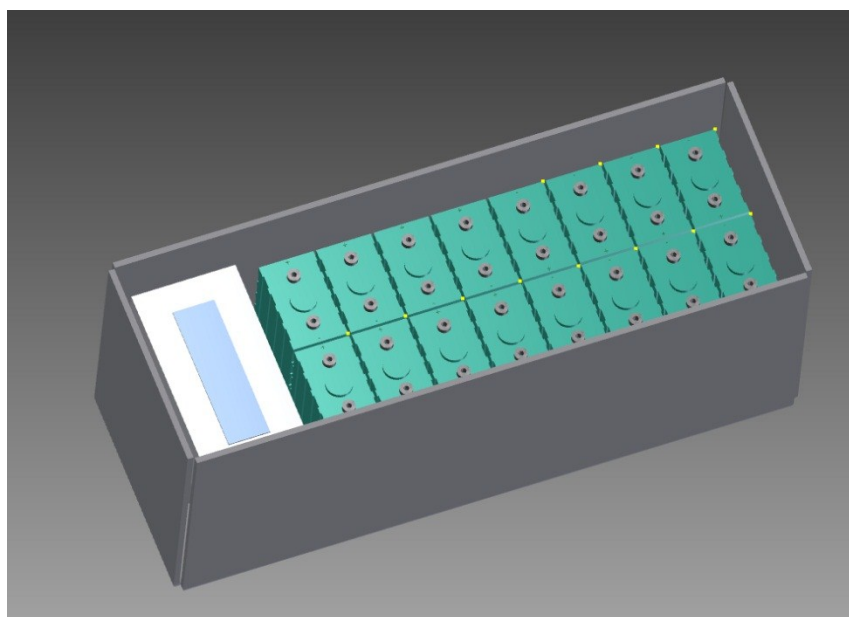
Obr. 7.3 – Fotografie balancérů zapojených na 4 článkové baterii 12V

### 7.3 Návrh boxů pro umístění baterií

Vzhledem k dalším úpravám, které jsou na vozidle Democar prováděny, vznikla nutnost změnit tvar a rozměry boxů pro umístění bateriových modulů. Tyto byly navrženy tak, aby zabíraly co nejméně místa s ohledem na vnější profil vozidla a případnou osádku. Na obrázcích níže jsou uvedeny 3D modely boxů, včetně předpokládaného rozmístění komponent.



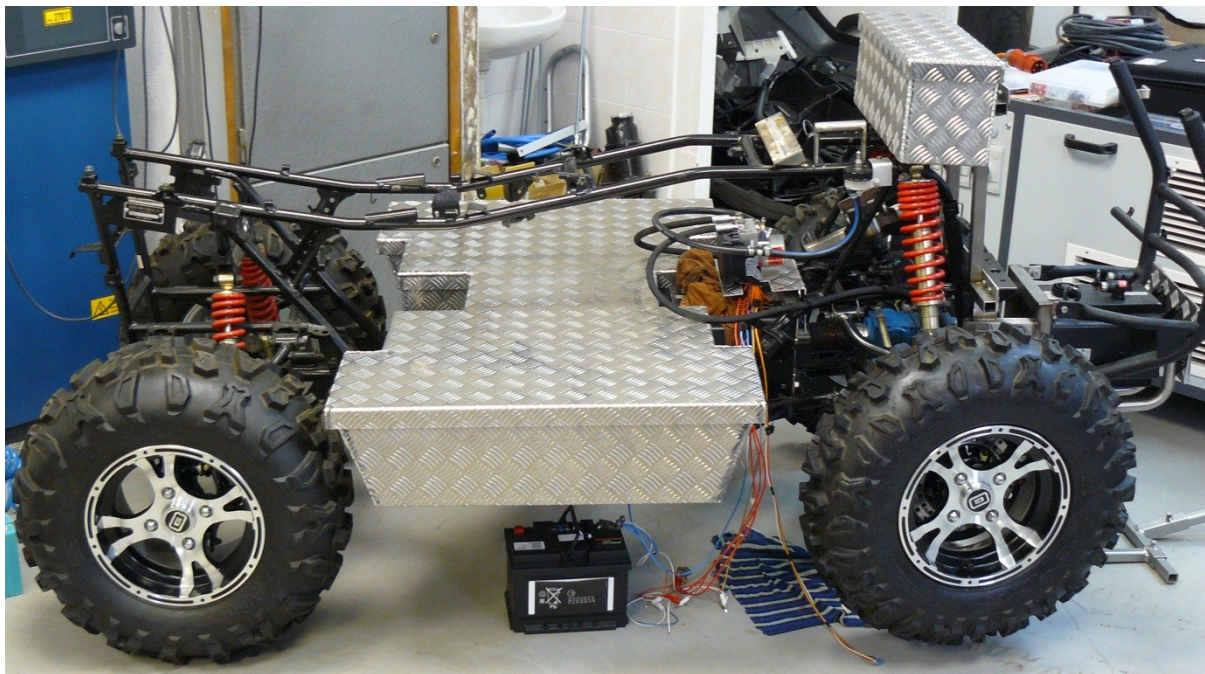
Obr. 7.4 – 3D model bateriových modulů pohonu a sítě 24V



Obr. 7.5 – 3D model bateriového modulu pro napájení palubní sítě 12V



Pro konstrukci boxů byl použit dostupný „slzičkový“ plech z hliníkové slitiny o tloušťce 3/4,5mm, který byl s dobrými výsledky použit i u předešlých boxů. Na obrázku níže je foto zhotovených boxů pro umístění bateriových modulů na vozidle „Democar“.

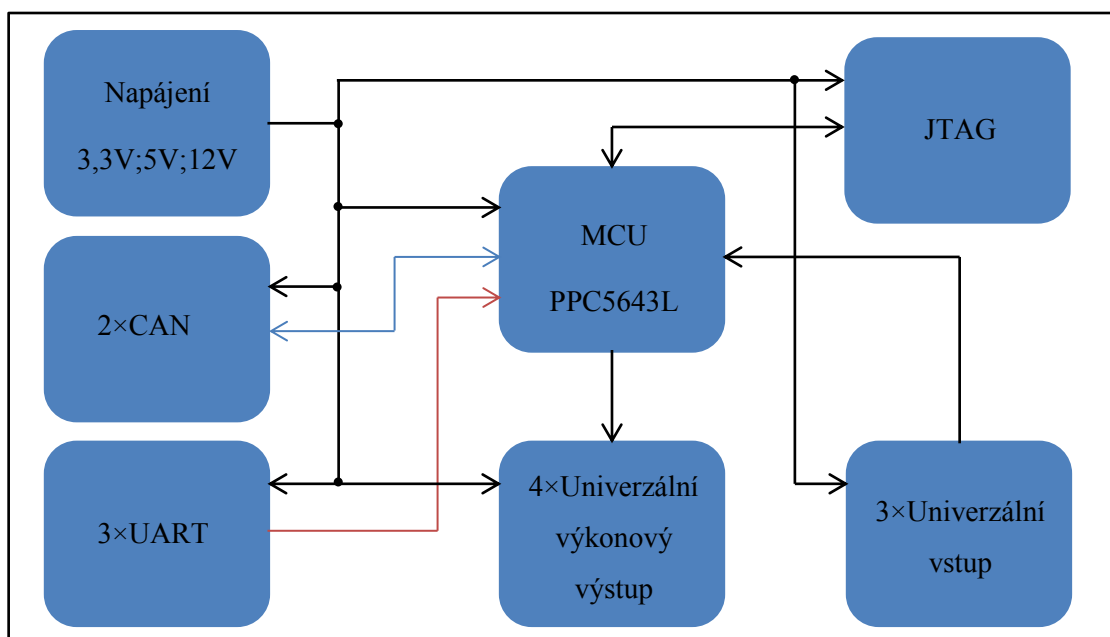


Obr. 7.6 – Fotografie umístění bateriových boxů na vozidle „Democar“

## 7.4 Návrh řídicí jednotky EMCU

Při řešení této práce vznikl požadavek na vytvoření řídicí jednotky, která bude přijímat veškerá data z jednotek X, které jsou dodávány výrobcem použitých balančních modulů a slouží k jejich řízení. Data z jednotek X budou v EMCU jednotce zpracována, vyříděna a vyhodnocena. Požadovaná data o stavu bateriových modulů budou následně odeslána na sběrnici CAN.

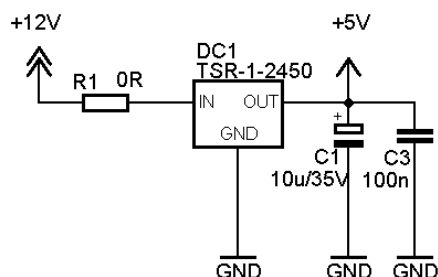
Jádro jednotky EMCU tvoří mikrokontrolér typu PPC5643L, který je použit i u ostatních řídicích jednotek na vozidle. Jde o dvoujádrový mikrokontrolér s frekvencí 120 MHz který je napájen napětím 3,3 V a 5 V. Obsahuje dva LINFlexD kanály použitelné pro UART s možností přepínání mezi více I/O piny. Této vlastnosti bude využito pro zajištění komunikace se třemi jednotkami X. Dále obsahuje dva Flex CAN 2.0B kanály, které budou použity pro komunikaci s CAN sběrnici vozidla. Na obrázku níže je znázorněno blokové schéma řídicí jednotky EMCU. (8) (9)



Obr. 7.7 – Blokové schéma jednotky EMCU

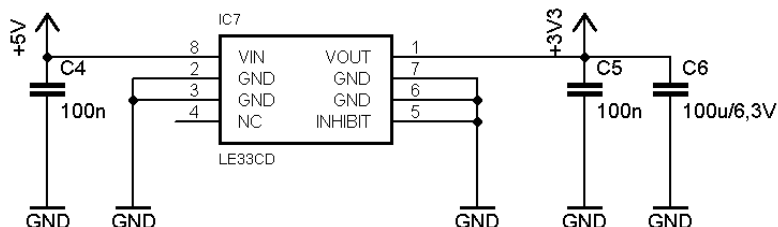
Návrh hardwaru jednotky EMCU probíhal v prostředí Eagle 6.5.0, ve kterém bylo vytvořeno schéma obvodu a návrh desky plošných spojů, dále jen „DPS“. Tyto jsou přiloženy v přílohách na konci práce. DPS bylo nutno navrhnout jako dvouvrstvou, přičemž většina použitých součástek je pro povrchovou montáž, dále jen SMD. Tato deska byla následně zadána do výroby a po jejím obdržení ručně osazena pomocí mikropájký. Po osazení byla deska otestována a byly odstraněny funkční nedostatky. Níže budou popsány některé funkční bloky jednotky EMCU.

Napájecí část se sestává z běžného DC/DC snižovacího měniče od firmy TRACO, který poskytuje výstupní napětí 5 V a je možné jej napájet napětím v rozsahu 6,5 – 35 V. Tento měnič je schopen poskytnout proud až 1 A. Na obrázku níže, je schéma jeho zapojení na jednotce EMCU.



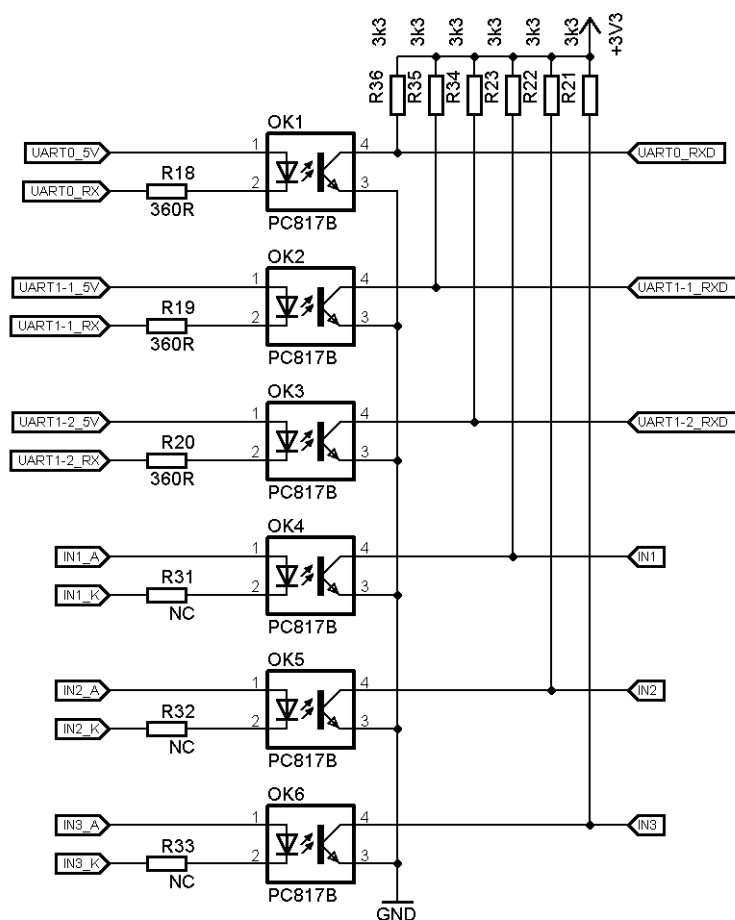
Obr. 7.8 – Schéma zapojení DC/DC měniče

Na následujícím obrázku je vidět zapojení běžného regulátoru napětí, který poskytuje napájení pro mikroprocesor o napětí 3,3 V a proudu max. 100 mA.



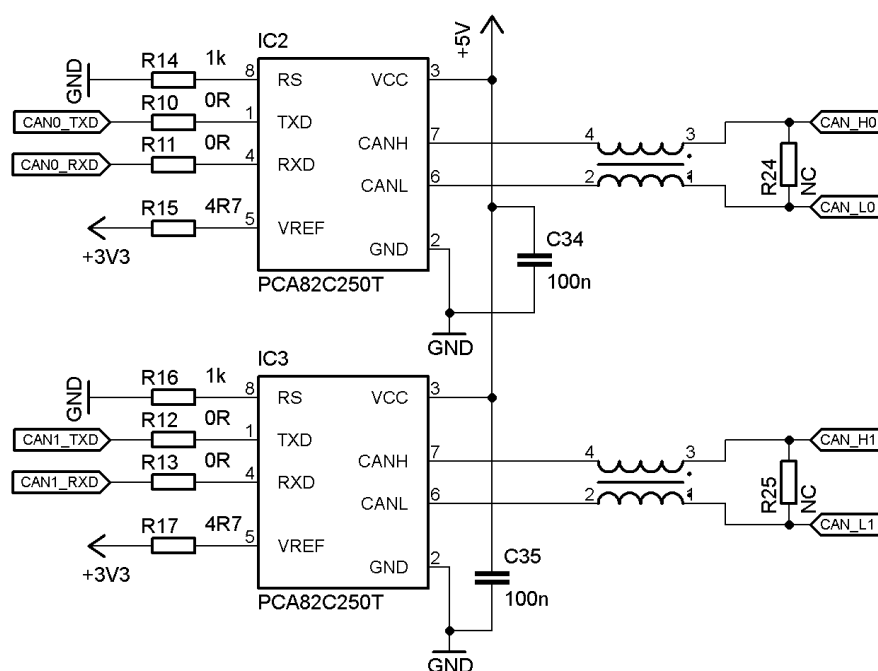
Obr. 7.9 – Schéma zapojení regulátoru napětí

UART komunikace je včetně univerzálních vstupů na jednotce EMCU oddělena pomocí optočlenů s tranzistorovým výstupem. Tyto zajišťují ochranu mikroprocesoru před napětím, které by jej mohlo ohrozit. Optočleny jsou v tzv. „pull-up“ zapojení a proto se budí „přizemňováním“ vstupních LED. Schéma zapojení optického oddělení je na obrázku níže.



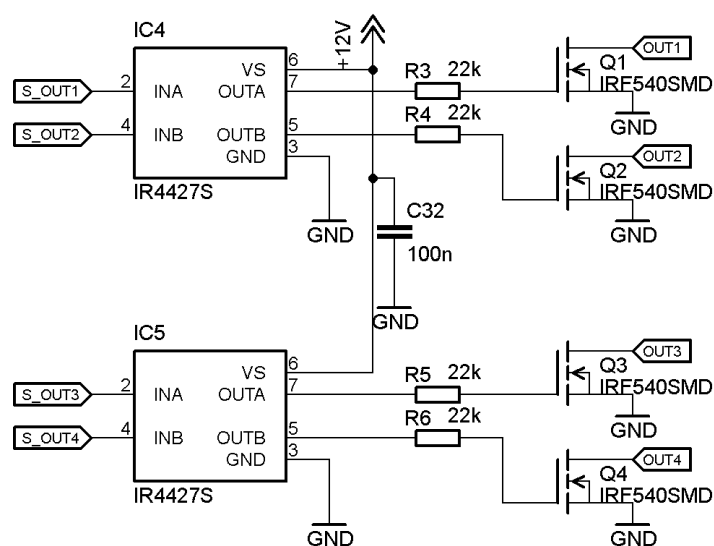
Obr. 7.10 – Schéma zapojení optického oddělení

CAN komunikace je zprostředkována skrze budiče, které provádějí úpravu signálů z mikroprocesoru dle standardu ISO 11898. Na obrázku níže je schéma takového zapojení. Je možné si zde povšimnout ukončovacích rezistorů (R24 a R25), které nejsou vždy nutné, nicméně, jejich doporučená hodnota je 120  $\Omega$ . Také jsou zde soufázové tlumivky, které slouží ke zvýšení potlačení souhlasného napětí, čili CMRR (angl. Common Mode Rejection Ratio). Tyto také nejsou vždy nutné, ale je doporučeno je použít, hlavně u delších vedení, na kterých se může indukovat rušivé souhlasné napětí.



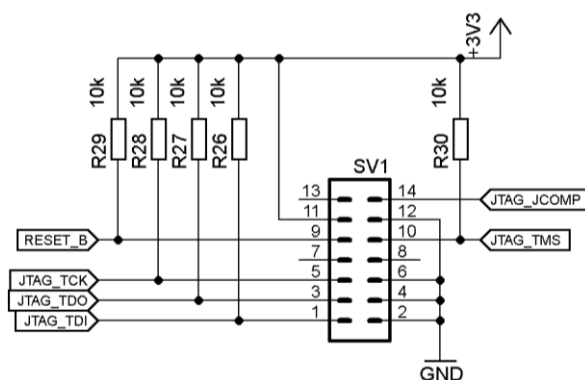
Obr. 7.11 – Schéma zapojení budičů rozhraní CAN

Univerzální výstupy jsou na jednotce EMCU celkem 4 pro případ potřeby v budoucnu. Tyto jsou tvořeny FET tranzistory IRF540 a příslušnými budiči, které zajišťují jejich spolehlivé spínání a vypínání. Všechny uvedené výstupy jsou vyvedeny na hlavní konektor jednotky. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku níže.



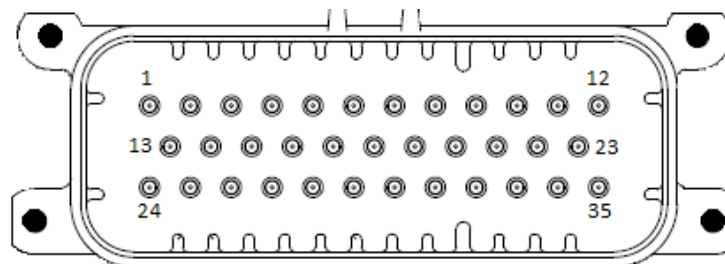
Obr. 7.12 – Schéma zapojení budičů výkonových tranzistorů

Na jednotce EMCU je dále vyveden i samostatný programovací konektor pro připojení externího programovacího přípravku Multilink Universal od firmy P&E Micro. Tento programovací konektor je určen pro snadné připojení programátoru a ladění programu na jednotce. V případě uzavření jednotky do těžko přístupného obalu, jsou veškeré signály nutné k programování mikroprocesoru vyvedeny i na hlavním konektoru jednotky EMCU. Schéma zapojení programovacího konektoru označovaného také jako JTAG je na obrázku níže. Na obrázku 1.25 je pak i schéma zapojení hlavního konektoru jednotky včetně programovacích pinů.



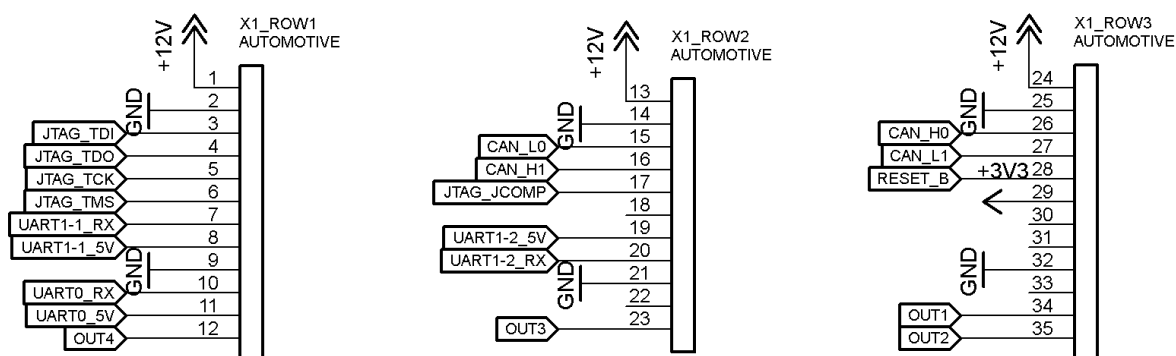
Obr. 7.13 – Schéma zapojení programovacího konektoru „JTAG“

Hlavní konektor EMCU jednotky je shodný s konektory použitými u ostatních řídicích jednotek na vozidle. Jde o 35 pinový konektor od výrobce AMPSEAL (viz obr. níže).

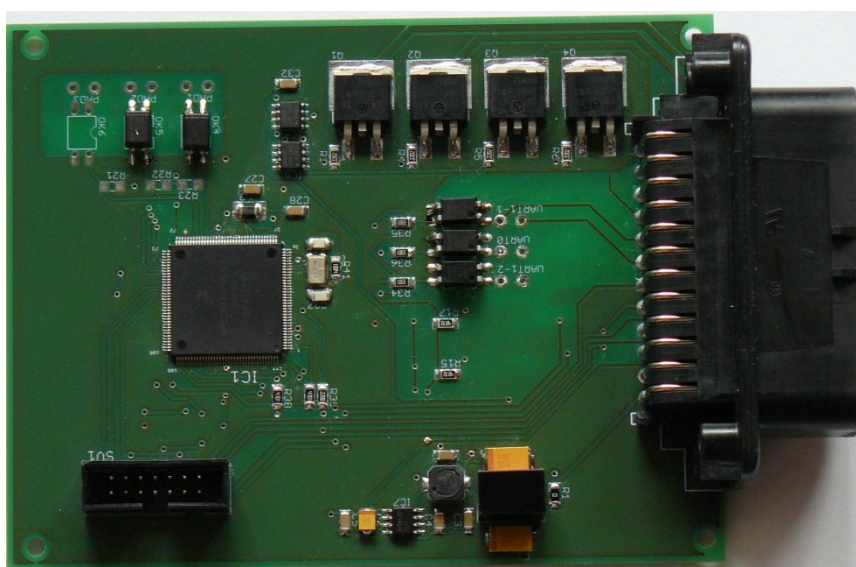


Obr. 7.14 – Konektor výrobce AMPSEAL použitý v EMCU

Na obrázku níže je uvedeno zapojení vývodů hlavního konektoru EMCU. Tyto byly zapojeny s ohledem na zapojení konektorů ostatních řídicích jednotek, tak, aby byly zachovány polohy pinů napájení, zemí, JTAG a CAN.

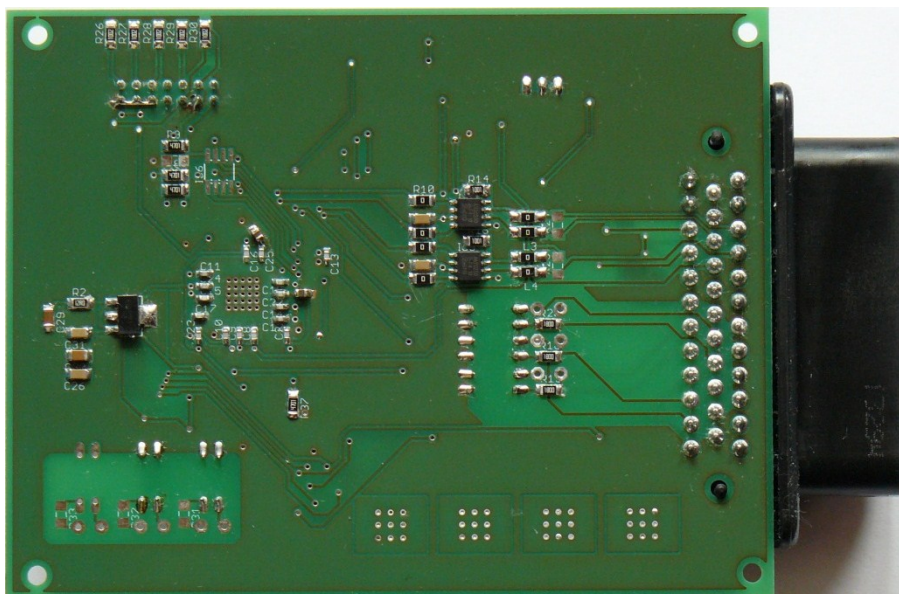


Obr. 7.15 – Zapojení hlavního konektoru jednotky EMCU



Obr. 7.16 – Pohled na hotovou jednotku EMCU z vrchní strany





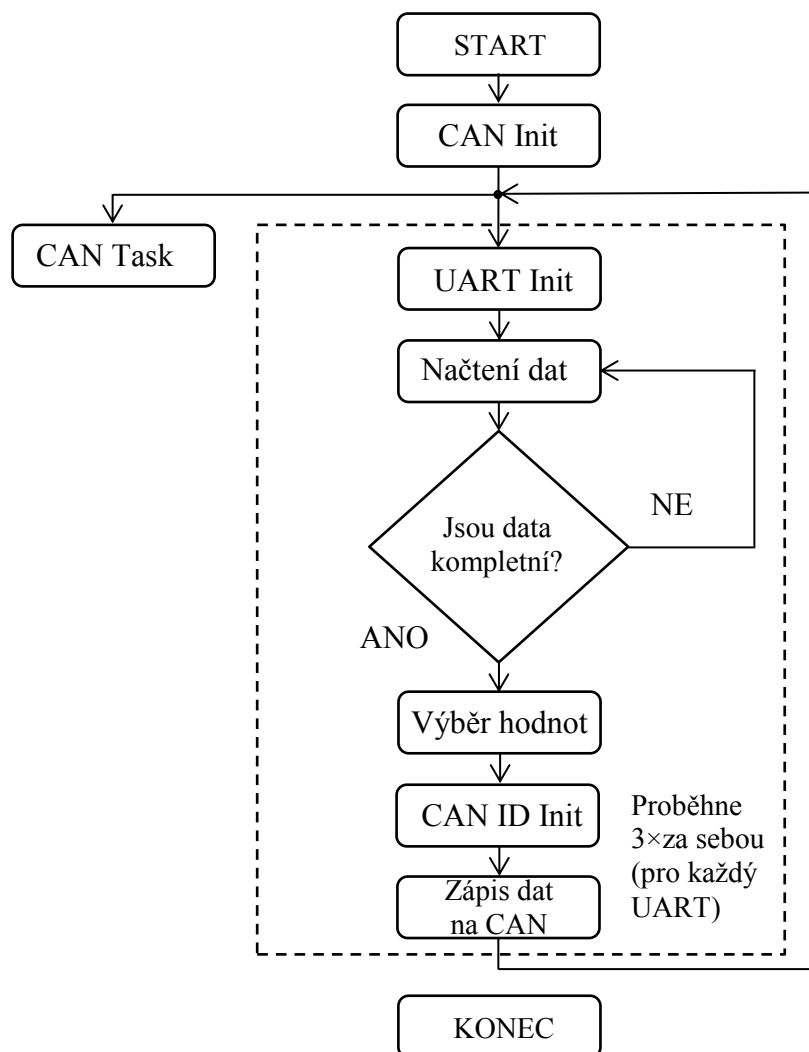
Obr. 7.17 – Pohled na hotovou jednotku EMCU ze spodní strany

## 7.5 Návrh aplikačního software

Aplikační software pro EMCU byl vytvořen v prostředí Code Warrior. Tento zprostředkovává jednosměrnou komunikaci mezi jednotkami X všech tří bateriových modulů a sběrnici CAN. Požadavek byl, aby se na tuto sběrnici dostávaly informace o přebíjení a podbíjení článků baterie a o celkovém ampérhodinovém stavu baterie. Jednoduchý vývojový diagram níže popisuje princip obsluhy jednotek X a odesílání dat na CAN. Prvotní seznámení s programovacím prostředím, návrh a testování programu bylo prováděno na vývojovém kitu TWR PXS 20 od firmy Axiom viz foto níže.



Obr. 7.18 – Pohled na vývojový kit TWR PXS 20



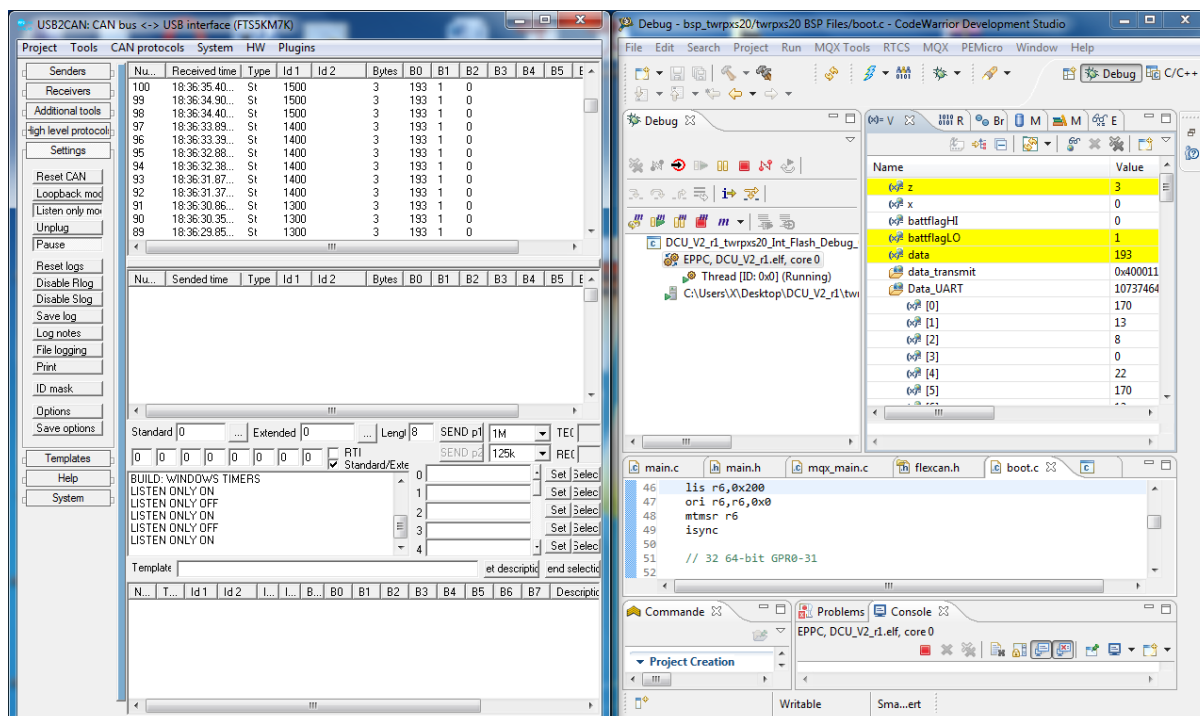
Obr. 7.19 – Vývojový diagram EMCU

Na začátku programu proběhne inicializace CANu a spuštění úlohy neboli „tasku“, který cyklicky odesílá zprávy o stavu baterií na sběrnici CAN. Tato úloha probíhá nezávisle na běhu hlavní části programu, ve které dochází k inicializaci UART, načtení dat, ověření jejich správnosti a celistvosti. V bloku výběr hodnot pak probíhá výběr konkrétních hodnot, výpočet stavů jednotlivých článků (zda se podbíjejí či přebíjejí) a zápis těchto stavů do proměnných, které následně využívá tzv. „CAN mailbox“. Poté se nastavuje ID zprávy obsahující vybraná data a následně dochází k odeslání této zprávy na CAN. Toto se neustále provádí postupně pro všechny tři baterie.

Program využívá rutiny jako např. „CAN prep MSG machine“, kde získané informace sestavuje do zpráv. „CAN mailbox“ je následně opatřuje příslušným identifikátorem (1300, 1400 a 1500 pro jednotlivé baterie) a odesílá tyto zprávy na sběrnici CAN. Tyto zprávy obsahují celkem 3 bajty dat, přičemž první bajt obsahuje „ampérhodinovou“ hodnotu stavu nabití příslušné baterie uvedenou v desetínách Ah, tj. např. číslo 193 znamená 19,3 Ah. Za touto hodnotou následuje bajt ve



kterém se nachází stavový bit (na pozici LSB), informující o podbíjení některého z článků baterie. V posledním bajtu se pak opět na pozici LSB nachází stavový bit, který informuje o přebíjení některého z článků baterie.



Obr. 7.20 – Pohled na USB to CAN terminál a Code warrior debugger

Na obrázku výše je zobrazen pohled na terminál převodníku USB to CAN a prostředí Code Warrior debuggeru. V logu USB to CAN jsou zobrazena data posílaná jednotkou EMCU na sběrnici CAN Control vozidla Democar. Úryvek z logu je uveden v tabulce č. 7.1 níže.

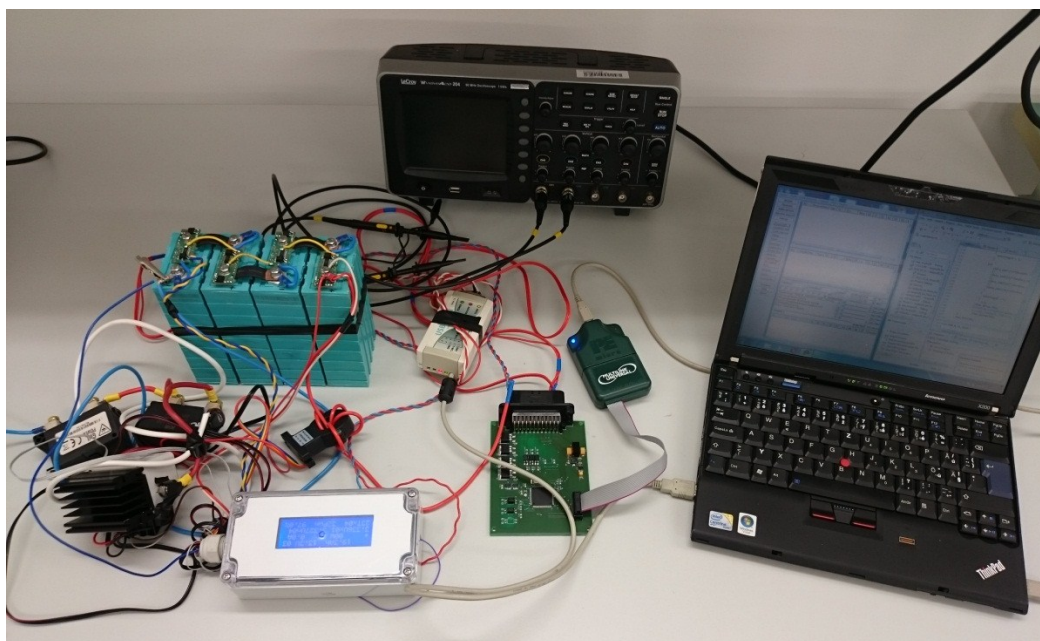
Tab. 7.1 – Úryvek z log souboru vygenerovaného převodníkem USB to CAN

Číslo zprávy	Čas přijetí zprávy (hh:mm:ss.tis)	Typ protokolu	ID	Počet bajtů dat	1. bajt	2. bajt	3. bajt
213	15:31:21.69:0.00	St	1300	3	193	1	0
214	15:31:21.576:0.00	St	1300	3	193	1	0
215	15:31:22.79:0.00	St	1300	3	193	1	0
216	15:31:22.586:0.00	St	1400	3	193	1	0
217	15:31:23.89:0.00	St	1400	3	193	1	0
218	15:31:23.596:0.00	St	1400	3	193	1	0
219	15:31:24.98:0.00	St	1400	3	193	1	0
220	15:31:24.603:0.00	St	1400	3	193	1	0
221	15:31:25.110:0.00	St	1400	3	193	1	0
222	15:31:25.613:0.00	St	1500	3	193	1	0
223	15:31:26.120:0.00	St	1500	3	193	1	0
224	15:31:26.623:0.00	St	1500	3	193	1	0
225	15:31:27.130:0.00	St	1500	3	193	1	0

V tabulce 7.1 je uveden úryvek z komunikace řídicí jednotky EMCU s okolím prostřednictvím sběrnice CAN. V tabulce jsou následující údaje. Zleva:

- Číslo zprávy
- Čas přijetí zprávy
- Typ protokolu (St – Standard, Ext – Extended)
- ID (Identifikátor zprávy)
- Počet bajtů dat (Uvádí délku datového rámce v bajtech)
- 1. bajt (Zde jde o Ah stav baterie uváděný v desetinách ampérhodin)
- 2. bajt (Zde jde o informaci zda se některý z článků nepodbývá, 1 – ANO, 0 – NE)
- 3. bajt (Zde jde o informaci zda se některý z článků nepřebíjí, 1 – ANO, 0 – NE)

Na obrázku níže je pak pohled na pracoviště, na kterém probíhal vývoj a testování aplikačního software pro jednotku EMCU.



Obr. 7.21 – Pohled na stanoviště se zapojenou jednotkou EMCU

Praktický test navržené jednotky EMCU probíhal mimo demonstrační vozidlo. Zapojeny byly všechny komponenty napájecí části. Tři jednotky X byly nasimulovány postupným ručním připojováním jediné jednotky X, která byla k dispozici, mezi jednotlivými vstupy UART na jednotce EMCU. Sběrnice CAN byla skenována pomocí převodníku USB to CAN od firmy Canlab. Tímto testem byla ověřena správná funkce řídicí jednotky EMCU a dodaného BMS systému.

## 8 Závěr

Diplomová práce se týkala návrhu koncepce energy managementu, řídicí jednotky EMCU a boxů pro umístění bateriových modulů. V úvodu práce je rozebrána rešerše na téma aktuálních trendů v oblasti napájení bateriových vozidel. Dále je rozebrána technologie baterií, jejich nabíjení a balancování. V závěru rešeršní části jsou probrány komunikační protokoly používané v BMS systémech a ve vozidlech.

Následující část práce se zabývá návrhem celkové koncepce energy managementu vozidla „democar“, boxů pro umístění bateriových modulů, návrhem řídicí jednotky EMCU a následně vývojem aplikačního software pro tuto jednotku. Před samotným návrhem všech částí systému byly prozkoumány původní návrhy a realizace provedené na vozidle, dále byly zohledněny požadavky vedoucího diplomové práce a plánované úpravy na vozidle, jako např. přidání zadního pohonu.

Při řešení realizační části byla nejdříve navržena celková koncepce systému, dle zadaných požadavků. Následně byl proveden návrh boxů pro bateriové moduly, které byly poté zadány do výroby firmě JM 20. Poté bylo navrženo obvodové schéma řídicí jednotky EMCU a její deska plošných spojů, která byla zadána do výroby firmě Gatema. Po jejím dodání byla ihned osazena svépomocí v laboratoři VŠB.

Při následném testování se vyskytly komplikace v podobě nefunkčního krystalu pro generování hodinového signálu procesoru. Tato chyba byla odstraněna a následně byla deska používána k otestování navrženého aplikačního software, který byl navržen na kitu TWR PXS 20 od firmy Axiom. Výsledky testování funkce jednotky EMCU jsou uvedeny v realizační části diplomové práce.

Testování funkčnosti systému proběhlo na zkušebním bateriovém modulu s dobrými výsledky. Komunikace s jednotkou EMCU probíhala bez problémů. Funkčnost BMS systému byla ověřena zkušebním nabíjením a vybíjením. Tímto byla ověřena funkce balančních modulů i řídicí jednotky X, která ovládá omezení proudu pomocí FET modulu a bistabilní relé.

Možné vylepšení navrženého systému vidím především v návrhu robustního aplikačního software jak pro jednotku EMCU, tak i pro ostatní řídicí jednotky na vozidle v některém z automotive standardů, jako např. AUTOSAR, apod.

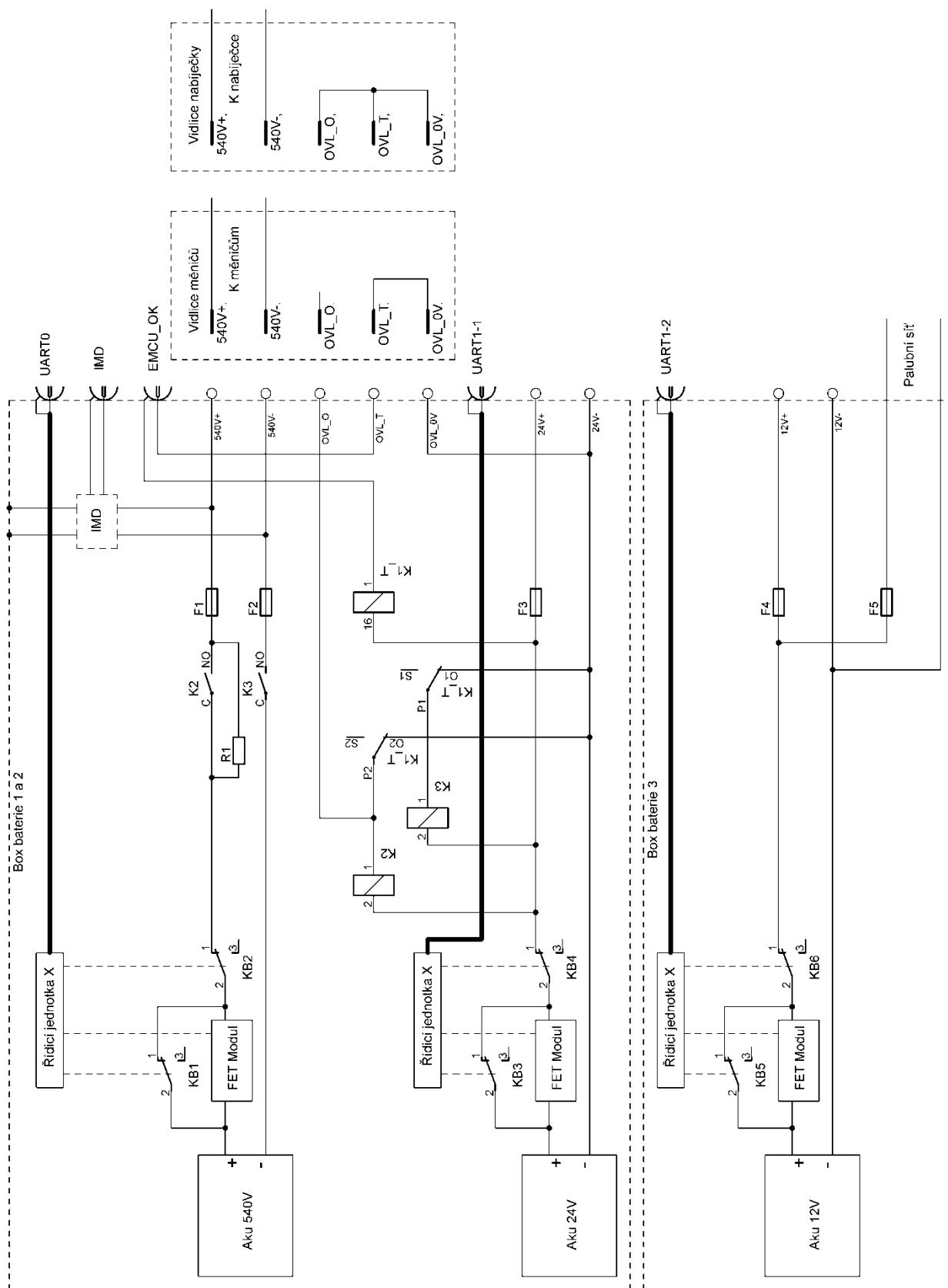
## 9 Použitá literatura

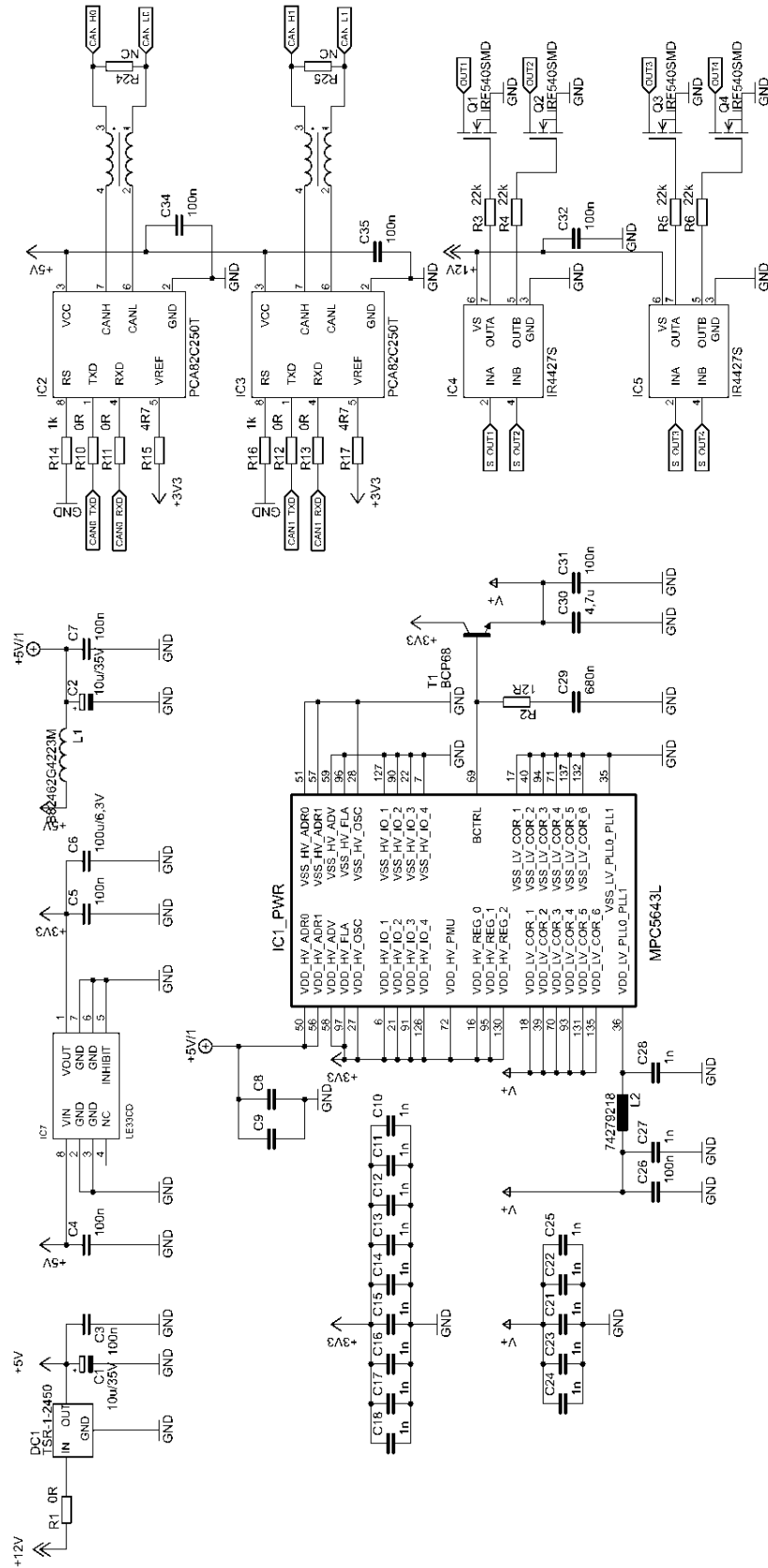
1. *Meridian International Research*. [Online] 2008. [Citace: 6. 4. 2016.] [http://www.meridian-int-res.com/Projects/Lithium\\_Microscope.pdf](http://www.meridian-int-res.com/Projects/Lithium_Microscope.pdf).
2. *House Of Batteries*. [Online] House Of Batteries, 2016. [Citace: 6. 4. 2016.] <http://www.houseofbatteries.com/articles.php>.
3. *Electropedia*. [Online] Woodbank Communications Ltd, 2005. [Citace: 6. 4. 2016.] <http://www.mpoweruk.com>.
4. *Engineers edge*. [Online] Engineers edge, LLC, 2016. [Citace: 10. 4. 2016.] [http://www.engineersedge.com/battery/capacity\\_battery\\_ratings.htm](http://www.engineersedge.com/battery/capacity_battery_ratings.htm).
5. **Dr. Ing. Karel Dudáček**. *Výuka*. [Online] 2016. [Citace: 8. 4. 2016.] [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf).
6. *Byte Paradigm*. [Online] Byte Paradigm sprl, 2016. [Citace: 8. 4. 2016.] <http://www.byteparadigm.com/applications/introduction-to-i2c-and-spi-protocols/>.
7. **Ing. Polák, Karel**. *Elektrorevue*. [Online] Ústav telekomunikací, VUT FEKT Brno, 16. 6 2003. [Citace: 7. 4. 2016.] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>.
8. *NXP Semiconductors*. [Online] Rev. 9, 6. 2013. [Citace: 12. 4. 2016.] [http://www.nxp.com/files/32bit/doc/data\\_sheet/MPC5643L.pdf](http://www.nxp.com/files/32bit/doc/data_sheet/MPC5643L.pdf).
9. *NXP Semiconductors*. [Online] Rev. 10, 26. 6. 2013. [Citace: 12. 4. 2016.] [http://cache.nxp.com/files/32bit/doc/ref\\_manual/MPC5643LRM.pdf](http://cache.nxp.com/files/32bit/doc/ref_manual/MPC5643LRM.pdf).
10. **Isidor Buchmann**. *Battery University*. [Online] Cadex electronics Inc., 2016. [Citace: 8. 4. 2016.] [http://batteryuniversity.com/learn/article/serial\\_and\\_parallel\\_battery\\_configurations](http://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations).
11. *Industrial Devices and Solutions*. [Online] 2016. [Citace: 8. 4. 2016.] <http://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ACA4000/ACA4000PE4.pdf>.
12. *International Energy Agency*. [Online] 2016. [Citace: 7. 4. 2016.] [http://www.iea.org/publications/globalevoutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf).

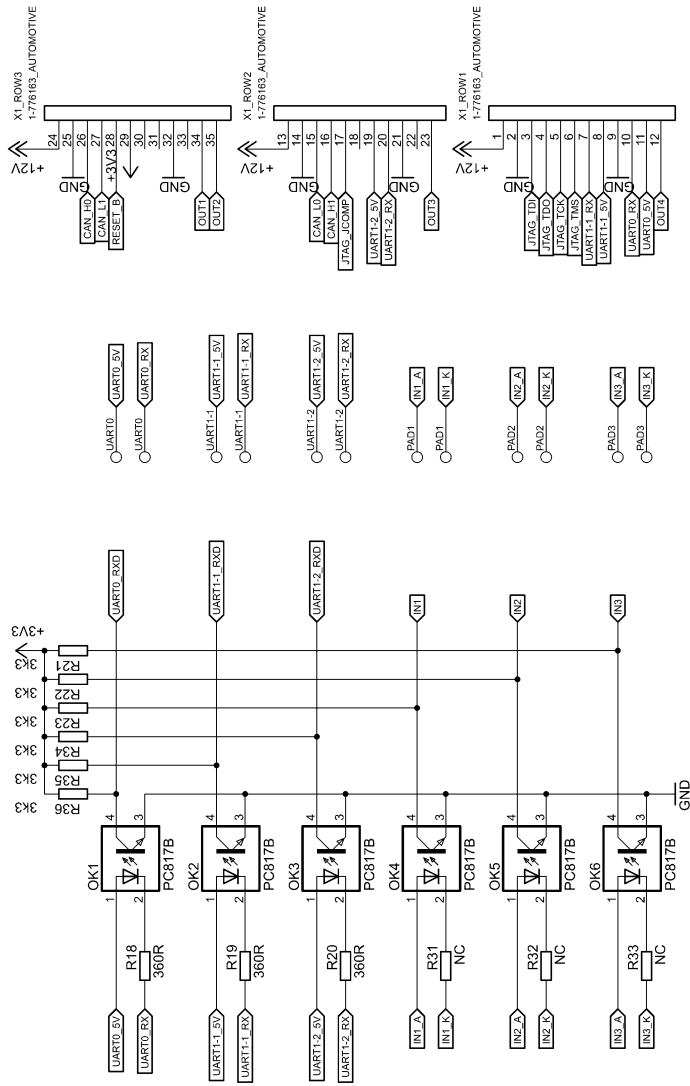
## 10 Seznam příloh

<b>Příloha I</b>	Schéma zapojení silových a ovládacích obvodů bateriových modulů (1 str.).....	I
<b>Příloha II</b>	Obvodové schéma jednotky EMCU (3 str.).....	II
<b>Příloha III</b>	Návrh DPS jednotky EMCU (1 str.).....	V
<b>Příloha IV</b>	Osazovací plány jednotky EMCU (1 str.).....	VI
<b>Příloha V</b>	Nákres boxu 1 pro bateriový modul 540V a 24V (1 str.).....	VII
<b>Příloha VI</b>	Nákres víka 1 pro bateriový modul 540V a 24V (1 str.).....	VIII
<b>Příloha VII</b>	Nákres boxu 2 pro bateriový modul 540V a 24V (1 str.).....	IX
<b>Příloha VIII</b>	Nákres víka 2 pro bateriový modul 540V a 24V (1 str.).....	X
<b>Příloha IX</b>	Nákres boxu 3 pro bateriový modul 12V (1 str.).....	XI
<b>Příloha X</b>	Nákres víka 3 pro bateriový modul 12V (1 str.).....	XII
<b>Příloha na DVD</b>	Aplikační software pro EMCU, návrh schéma a DPS jednotky EMCU, 3D modely bateriových modulů a boxů.	

# **Příloha I**      Schéma zapojení silových a ovládacích obvodů bateriových modulů

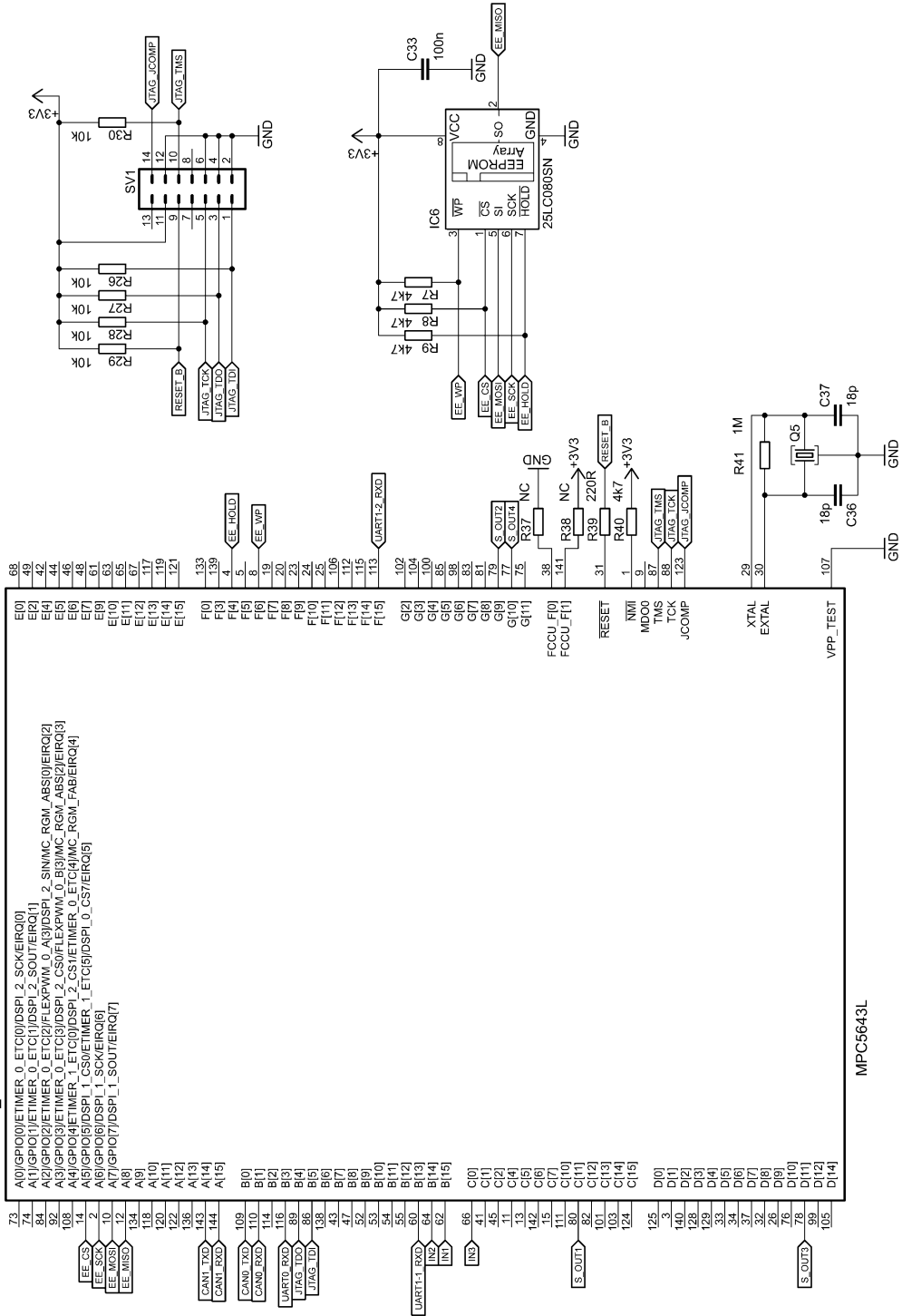






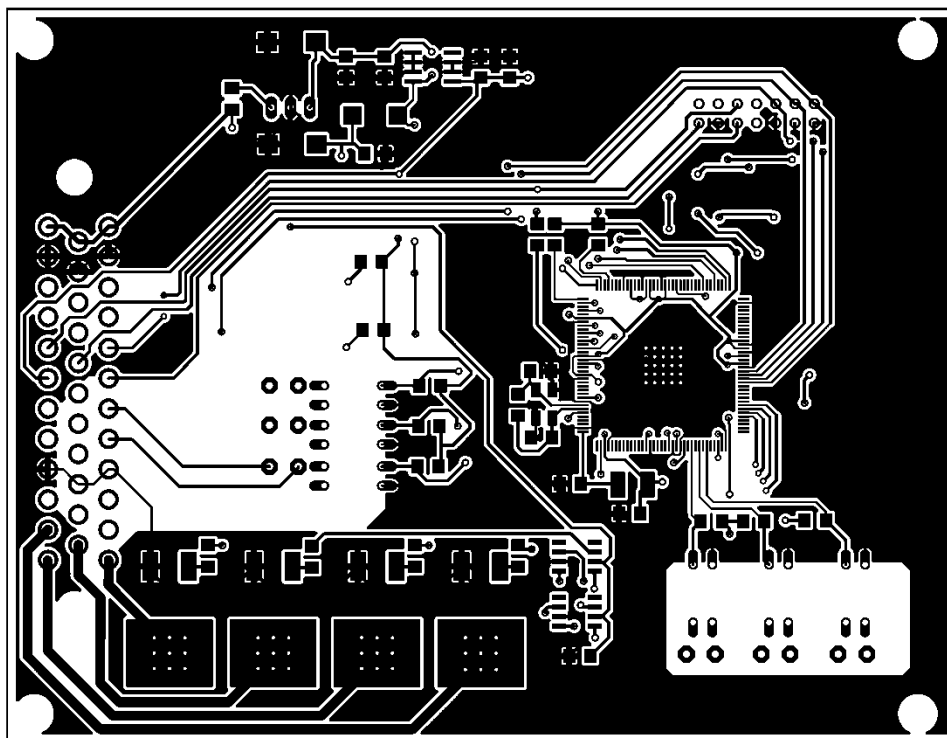


# IC1\_IO

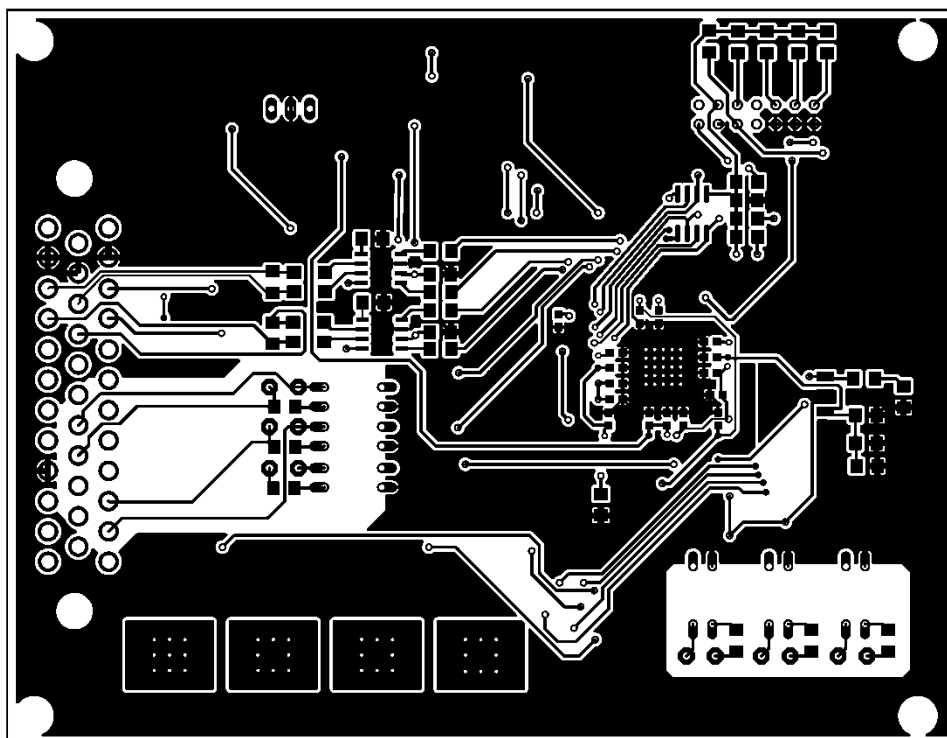


### Příloha III Návrh DPS jednotky EMCU

Vrstva TOP:

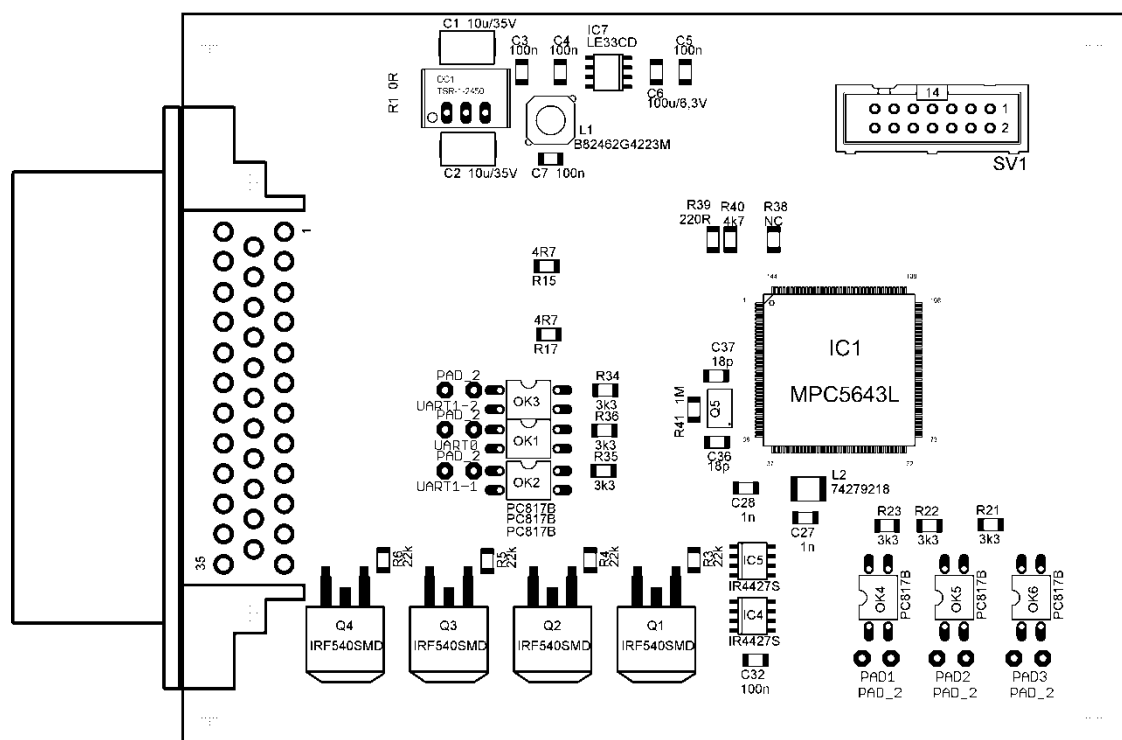


Vrstva BOT:

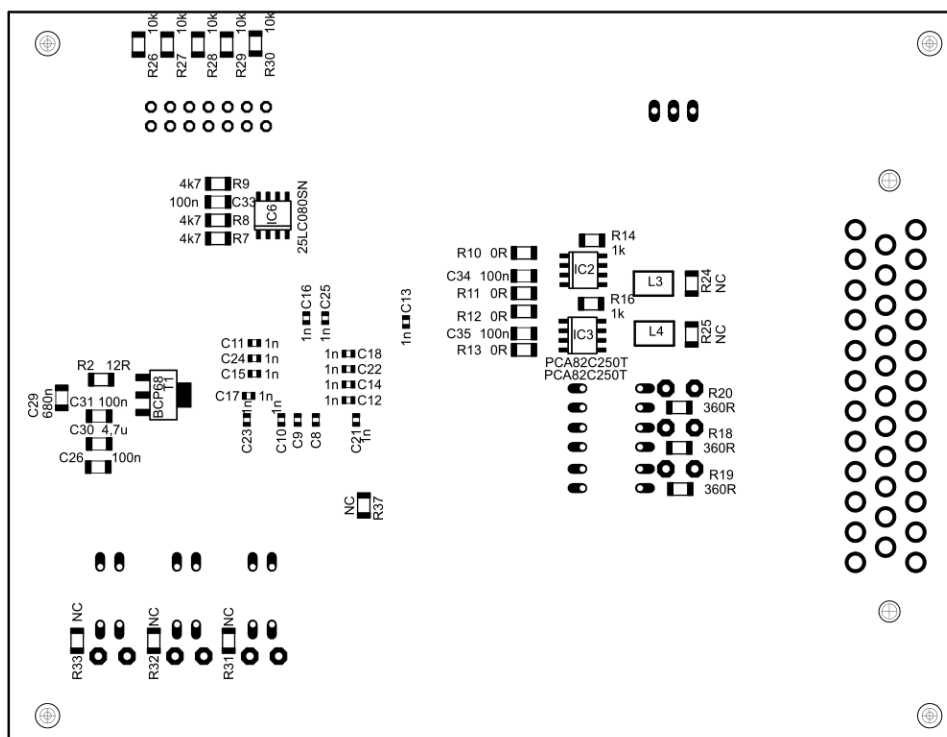


## Příloha IV Osazovací plány jednotky EMCU

Vrstva TOP:

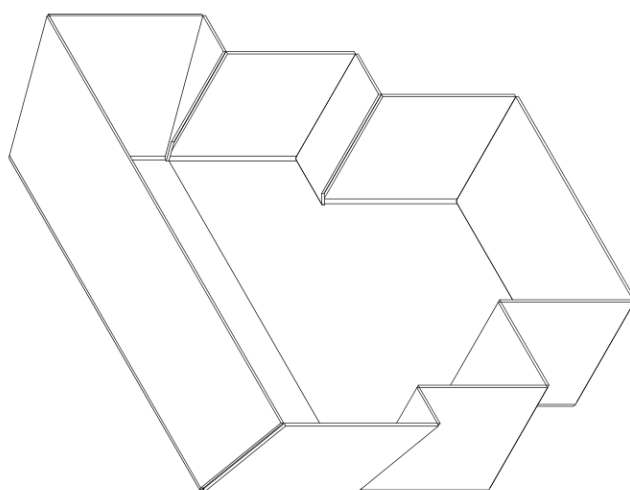
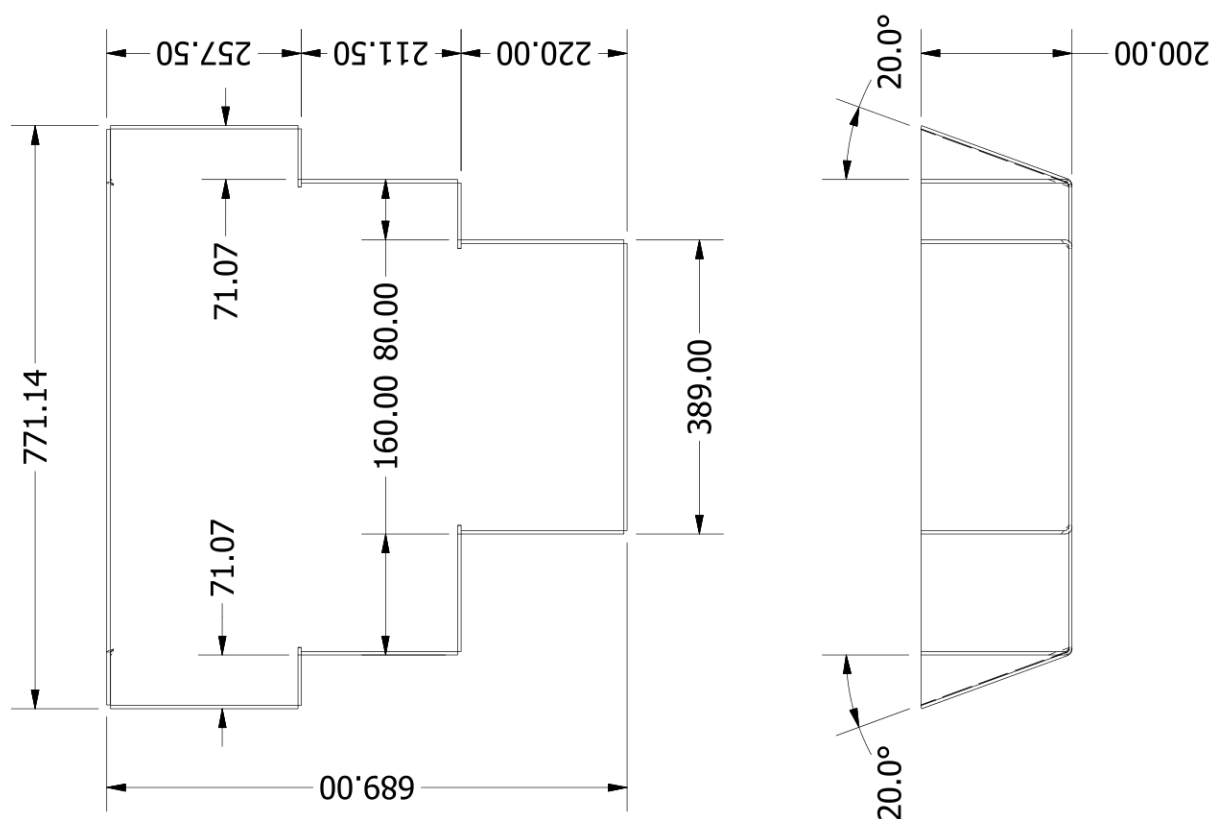


Vrstva BOT:



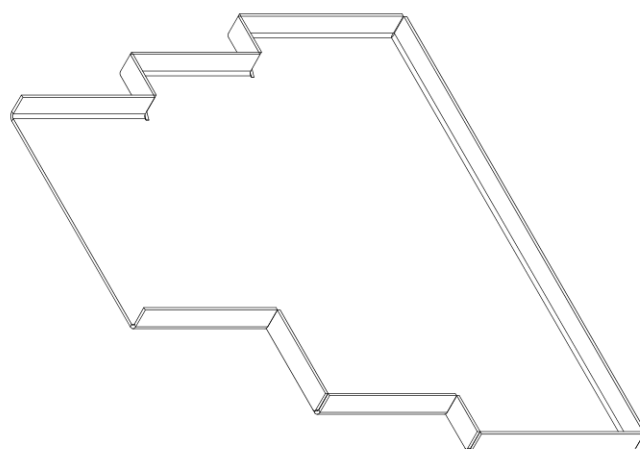
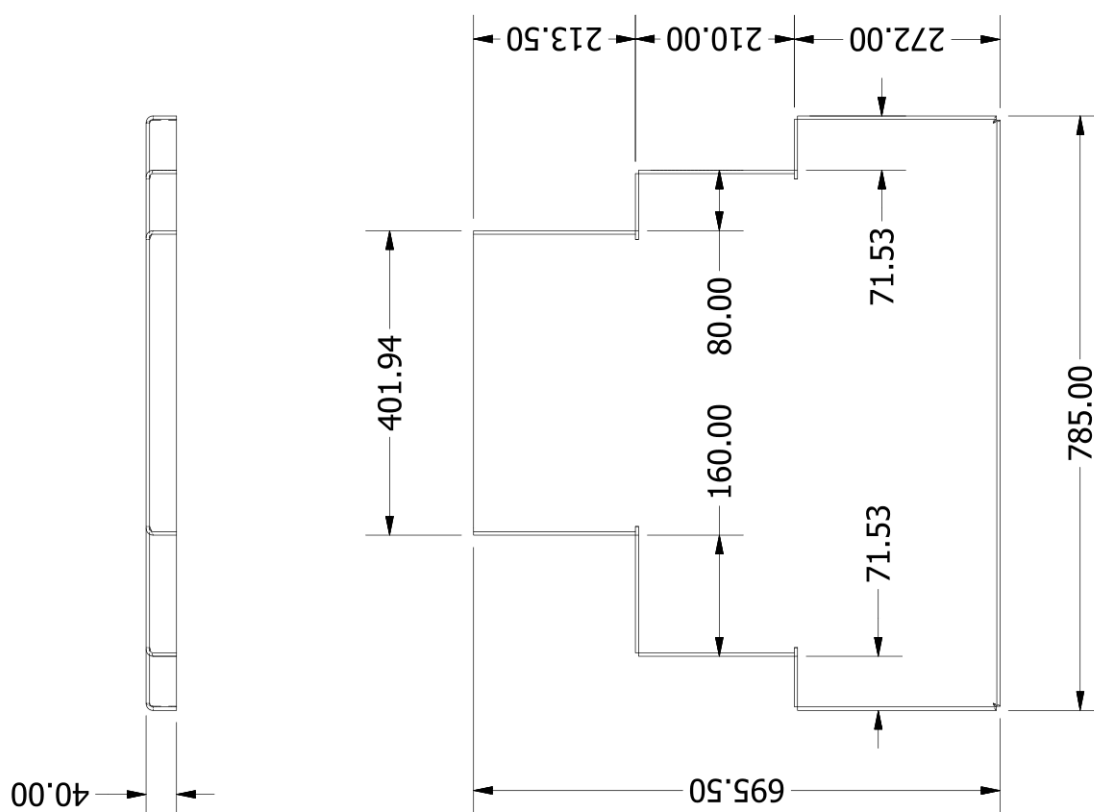
**Příloha V**      Nákres boxu 1 pro bateriový modul 540V a 24V

Měřítko je 1:10



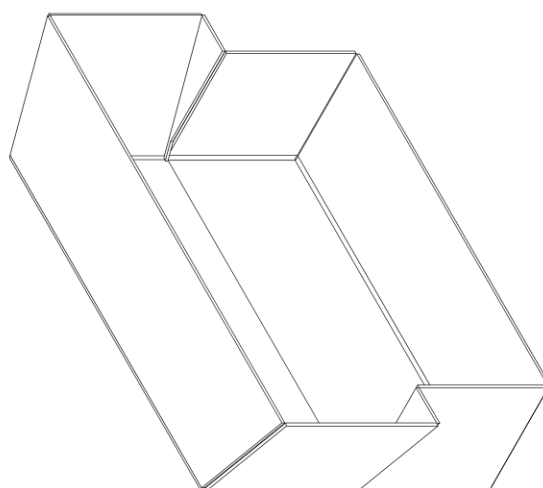
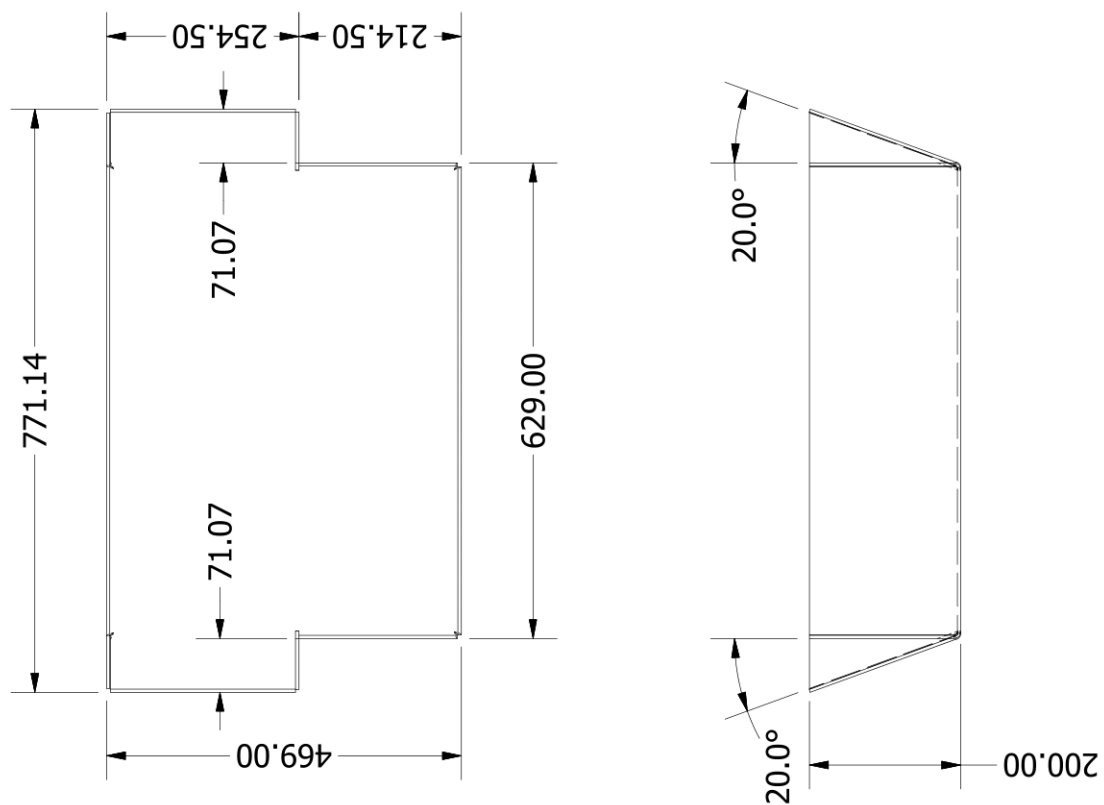
**Příloha VI**      Nákres víka 1 pro bateriový modul 540V a 24V

Měřítko je 1:10



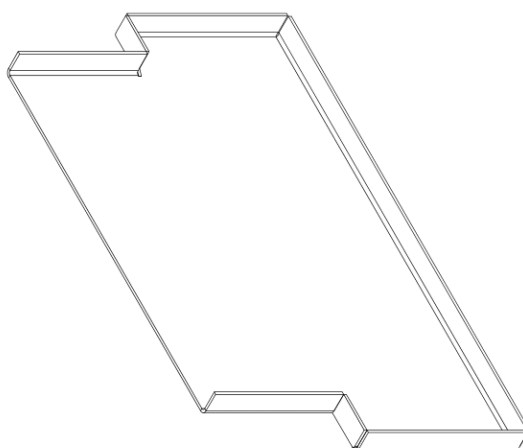
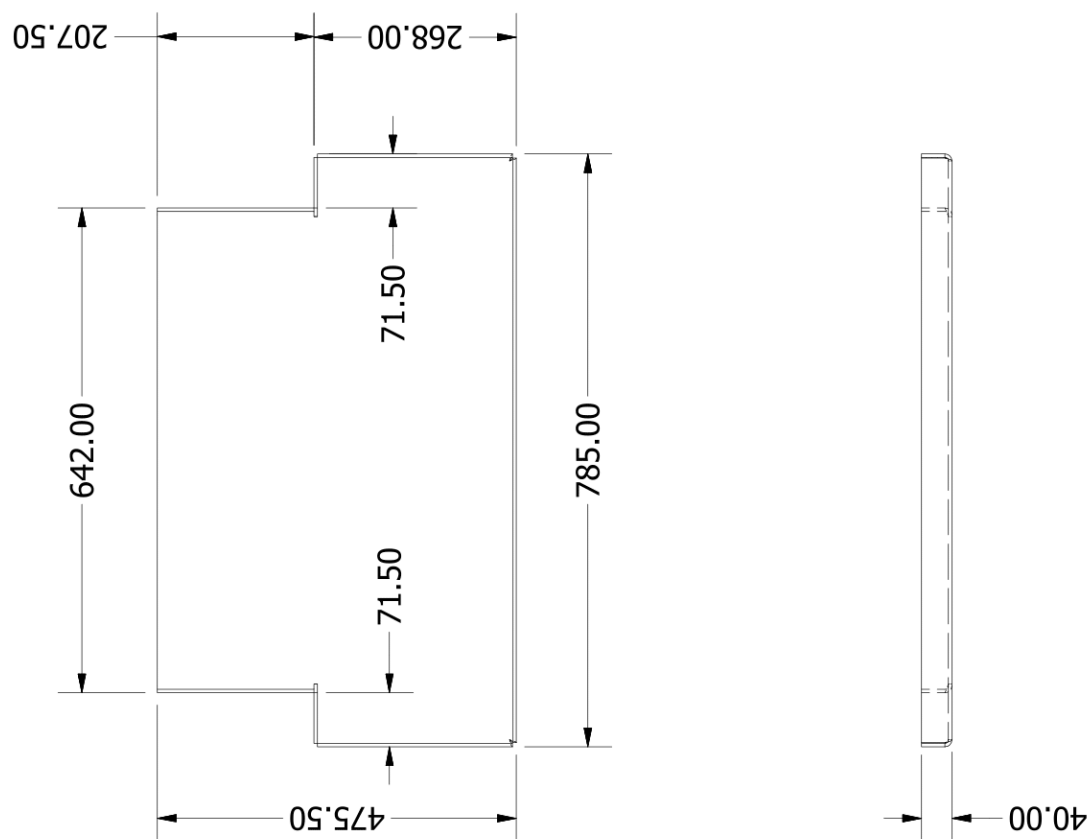
**Příloha VII** Nákres boxu 2 pro bateriový modul 540V a 24V

Měřítko je 1:10



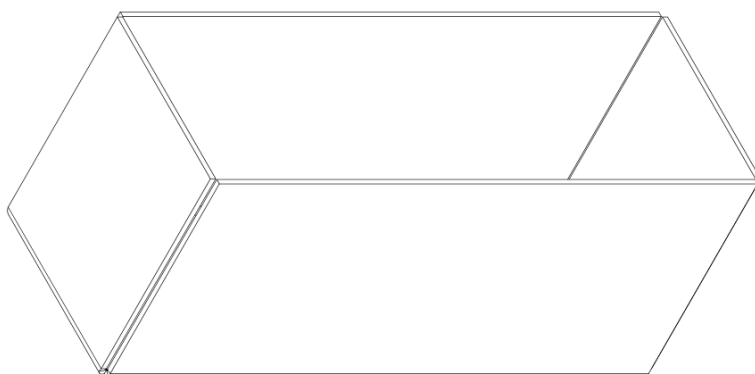
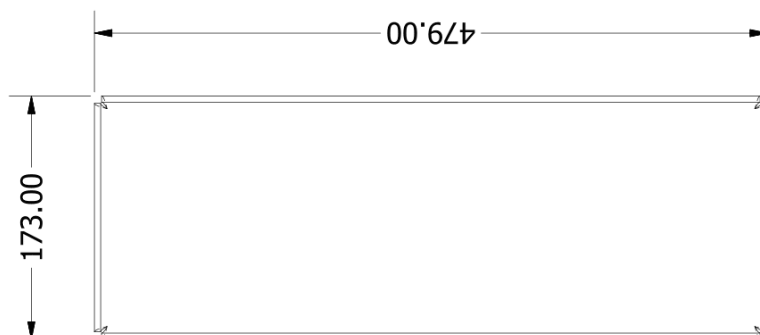
**Příloha VIII** Nákres víka 2 pro bateriový modul 540V a 24V

Měřítko je 1:10



**Příloha IX**      Nákres boxu 3 pro bateriový modul 12V

Měřítko je 1:5





**Příloha X**      Nákres víka 3 pro bateriový modul 12V

Měřítko je 1:5

